



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# ÖLJYLLÄ PILAANTUNEEN MAAPERÄN RISKINARVIOINTI

TEKIJÄ: Timo Pitkänen

Koulutusala			
Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma			
Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t)			
Timo Pitkänen			
Työn nimi			
Öljyllä pilaantuneen maaperän riskinarviointi			
Päiväys	16.2.2014	Sivumäärä/Liitteet	48/6
Ohjaaja(t)			
Yliopettaja Merja Tolvanen, suunnittelija Marjaana Rautpalo			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)			
Ramboll Finland Oy			
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Tässä opinnäytetyössä tehtiin Haapamäen yhtenäiskoulun alueen maaperään jääneiden pilaantuneiden maiden ympäristö- ja terveysriskejä tarkasteleva kohdekohtainen riskinarviointi. Pilaantuneita maita oli jäänyt maaperään kesällä 2013 poistettujen öljysäiliöiden jälkeen. Öljyä oli päässyt maaperään öljysäiliöiden ylitäyttöjen seurauksena. Riskinarvioinnin tavoitteena oli määrittää kohteen maaperän ja pohjaveden pilaantuneisuus sekä arvioida niiden puhdistamistarvetta.</p> <p>Työ aloitettiin asentamalla koulun alueelle pohjaveden havaintoputkia sekä ottamalla maaperä- ja pohjavesinäytteitä. Laboratoriotulosten pohjalta voitiin havainnoida öljyhiilivetyjen leviämistä ja käyttäytymistä maaperässä ja pohjavedessä. Saatujen tulosten avulla riskinarviointi tehtiin pohjavesi- ja sisäilmakulkeutumisen osalta laskennallisena tarkennettuna arviointina ja muilta osin sanallisena tarkennettuna arviointina Valtioneuvoston asetuksen 214/2007 mukaisesti. Riskinarvioinnissa huomioitiin haitta-aineen ominaisuudet, kulkeutumisreitit sekä terveys- ja ekologiset riskit. Pohjavesi- ja sisäilmakulkeutumisen laskennallinen osuus tehtiin öljyhiilivedyille käyttäen Excel-pohjaista SOILI-RISK-riskinarviointiohjelmaa. Laskennassa käytettiin hiekkamaille sovellettuja lähtöarvoja ja kohteesta saatua taustatietoja. Ohjelma laski maaperästä ja pohjavedestä mitattujen öljyhiilivetytypitoisuuksien ja öljyhiilivetyjen eri fraktioiden pohjalta haitta-aineen riskit pinta- ja pohjamaahan, sisäilmaan ja pohjaveteen.</p> <p>Laskennallisen riskinarvioinnin ja pohjavesinäytteiden perusteella haitta-aineiden liukeneminen maaperästä pohjaveteen on vähäistä. Potentiaalisimmaksi terveysriskiksi arvioitiin haitta-aineen haihtuminen rakennuksen sisäilmaan rakennuksen alapuolisista maakerroksista. Arvioinnin perusteella maaperän kohonneet haitta-ainepitoisuudet eivät kuitenkaan aiheuta merkittäviä riskejä terveydelle tai ympäristölle, eikä alueella ole maaperän jatkokunnostustarvetta.</p>			
Avainsanat			
Riskinarviointi, öljyhiilivedyt, pilaantunut maaperä, pohjavesi			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Timo Pitkänen			
Title of Thesis Risk Assessment of Oil Contaminated Soil			
Date	16 February, 2014	Pages/Appendices	48/6
Supervisor(s) Ms Merja Tolvanen, Principal Lecturer and Ms Marjaana Rautpalo, Environmental Engineer			
Client Organisation /Partners Ramboll Finland Oy			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The aim of this final project was to made an environmental and health risk assessment of the oil-contaminated soil in the Haapamäki school area. The city of Keuruu was the client of the risk assessment and it was made in cooperation with Ramboll Finland Oy. The purpose of the risk assessment was to define the level of soil and groundwater contamination in the target and estimate the need for cleaning. The oil had leaked to the soil in consequence of overfilling the oil tanks.</p> <p>The risk assessment was started by a further research in the school area. Groundwater pipes were installed around the school and soil samples together with ground water samples were taken. Based on the laboratory results it was possible to find out the spreading of hydrocarbons in the soil and groundwater. The risk assessment was made by accurate calculated evaluation for groundwater and indoor air diversion and the remainder of the assessment by accurate verbal evaluation. The method chosen for the calculated evaluation was the SOILIRISK program. The program took account of the properties, pathways and health and ecological risks of oil. Historical data and output values for sandy soils were used in calculation. The program calculated risks to surface and subsoil, indoor air and groundwater based on concentration and different fractions of oil.</p> <p>Based on the calculated evaluation and groundwater samples taken the dissolving from the soil to the groundwater is minor. The most potential health risk was estimated to be the evaporation of harmful substances into the indoor air of the school building. The results from the evaluation showed that there are no significant risks to health or environment by the increased contaminant concentrations in the soil. There are no further soil remediation requirements.</p>			
<p><b>Keywords</b></p> <p>Risk assessment, fuel based hydrocarbons, contaminated soil, groundwater</p>			
Public			

## ESIPUHE

Pilaantuneiden maiden tutkiminen, kunnostaminen ja pilaantuneista maista syntyvien riskien tarkastelu on yksi suurimmista ympäristötekniikan insinöörejä työllistävistä tehtävistä. Aloitin toukokuussa 2013 harjoittelijana Ramboll Finland Oy:ssä ja aloin tekemään mm. pilaantuneiden maiden tutkimiseen ja kunnostamiseen liittyviä tehtäviä. Syksyllä 2013 sain yritykseltä mielenkiintoisen ja käytännön työhön liittyvän opinnäytetyön aiheen.

Haluankin kiittää työn toimeksiantajaa opinnäytetyön aiheen antamisesta. Haluan kiittää kaikkia Ramboll Finland Oy:n Jyväskylän toimipisteen ympäristökonsultoinnin työntekijöitä, jotka ohjasivat opinnäytetyön tekemisen lisäksi myös kesällä suoritettua harjoitteluani. Erityisen maininnan haluan antaa suunnittelija Marjaana Rautpalolle, jolta sain paljon apua ja tukea opinnäytetyöni tekemisessä. Yliopettaja Merja Tolvasta haluaisin kiittää opinnäytetyöni ohjaamisen lisäksi koko ympäristötekniikan aikaisista opinnoistani.

Kuopiossa 16.2.2014

Timo Pitkänen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	PILAANTUNUTTA MAAPERÄÄ KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ .....	8
2.1	Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi .....	8
2.2	Kynnys- ja ohjearvojen sekä taustapitoisuuksien käyttö arvioinnissa.....	9
2.3	Pilaantuneen alueen puhdistamisvelvollisuudet .....	9
2.4	Pohjaveden pilaaminen .....	10
3	PILAANTUNEEN MAAN RISKINARVIOINTI.....	12
3.1	Riskinarvioinnin tavoitteet .....	12
3.2	Riskinarviointimenetelmät .....	13
3.2.1	Arviointitarpeen tunnistaminen .....	14
3.2.2	Perusarviointi .....	14
3.2.3	Tarkennettu arviointi .....	15
3.2.4	Riskinarvioinnin dokumentointi .....	19
4	ÖLJYHIILIVEDYT MAAPERÄSSÄ .....	20
4.1	Maaperän ja pohjaveden pilaantuminen Suomessa.....	20
4.2	Öljihiilivetyjakeet sekä niiden kynnys- ja ohjearvot .....	20
4.3	Öljihiilivetyjen käyttäytyminen maaperässä.....	21
4.4	Öljihiilivetyjen aiheuttamat riskit.....	23
5	ÖLJYLLÄ PILAANTUNEEN MAA-ALUEEN KUNNOSTUSMENETELMÄT .....	25
5.1	Pilaantuneen maa-alueen kunnostusmenetelmät.....	25
5.2	On site -menetelmät.....	26
5.3	Off site -menetelmät.....	27
5.3.1	Massanvaihto .....	27
5.3.2	Kompostointi .....	27
5.3.3	Termiset käsittelyt .....	28
5.3.4	Kiinteytys/stabilointi .....	30
5.3.5	Kaatopaikkakäsittely.....	31
5.4	In situ -menetelmät.....	31
5.4.1	Luontainen biohajoaminen .....	31
5.4.2	Biologinen ilmahuuhtelu.....	32
5.4.3	Tehostettu biologinen puhdistus .....	32

5.4.4	Huokosilmakäsittely .....	33
5.4.5	Eristys .....	34
6	RISKINARVIOINTIKOHDE JA VALITUT MENETELMÄT .....	35
6.1	Kohteen kuvaus .....	35
6.2	Kohteen pilaantuneisuus .....	36
6.3	Kohteeseen valitut riskinarviointimenetelmät .....	38
7	KOHTEEN SEURANTATOIMENPITEET RISKIANALYYSIÄ VARTEN .....	39
7.1	Pohjavesiputkien asennus .....	39
7.2	Näytteenotto ja näytteiden analysointi .....	40
7.3	Näytteiden laboratoriotulokset .....	42
8	RISKINARVIOINTI HAAPAMÄEN YHTENÄISKOULULLA .....	43
8.1	Kulkeutumisriskit.....	43
8.2	Terveysriskit.....	44
8.3	Jatkotoimenpiteet Haapamäen yhtenäiskoululla .....	46
9	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	47
	LÄHTEET .....	48

LIITE 1 SIJAINTIKARTTA (1 SIVU)

LIITE 2 POHJAVESIALUEKARTTA (1 SIVU)

LIITE 3 NÄYTEPISTEKARTTA (1 SIVU)

LIITE 4 HAITTA-AINEEN KULKEUTUMISEN KÄSITTEELLINEN MALLI (1 SIVU)

LIITE 5 SOILIRISK-LASKENTAAN VALITUT PARAMETRIT (3 SIVUA)

LIITE 6 SOILIRISK-LASKENNAN YHTEENVETO (2 SIVUA)

## 1 JOHDANTO

Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2013 tekemän tutkimuksen mukaan Suomessa on noin 23 900 pilaantuneeksi epäiltyä, todettua tai jo kunnostettua maa-aluetta. Öljyhiilivedyillä pilaantuneiden kohteiden osuus oli vuonna 2008 noin 55 %. Lisäksi 21 % kohteista oli sekapilaantuneita, sisältäen kuitenkin öljyhiilivetyjä. Kunnostuspäätöksiä on tehty 1980-luvulta lähtien noin 4 900. (Valtion ympäristöhallinto.)

Keuruun Haapamäen yhtenäiskoululla kunnostettiin maaperää kesällä 2013 muun koulun remontoinnin yhteydessä. Kunnostuksen valvoi Ramboll Finland Oy. Koulun sisäpihalla sijaitsevien öljysäiliöiden ympäröivä maaperä kunnostettiin massanvaihdoilla, jossa pilaantuneet maat kaivettiin ja kuljettiin muualle käsiteltäväksi. Kaivanto täytettiin puhtailla maa-aineksilla. Koulun ulkoseinän alapuoleisiin maakerrokseen ja kaivannon pohjoispäädyssä sijaitsevan viemärilinjan alapuoleisiin maakerrokseen jäi tavoitepitoisuudet ylittäviä, öljyhiilivedyillä pilaantuneita maita. Suurin osa öljyhiilivedyistä oli keskittisiä ( $C_{10}$ - $C_{21}$ ). Pilaantuneet maakerrokset sijaitsevat noin 4 - 7 metrin syvyydessä. Niitä ei ollut teknisesti turvallista poistaa.

Tämän työn tavoitteena on tehdä Haapamäen yhtenäiskoulun alueen maaperään jääneiden pilaantuneiden maiden ympäristö- ja terveysriskejä tarkasteleva kohdekohtainen riskinarvio. Riskinarvioinnin tavoitteena on määrittää kohteen maaperän ja pohjaveden pilaantuneisuus sekä arvioida niiden puhdistamistarvetta. Opinnäytetyö tehdään Ramboll Finland Oy:n kanssa yhteistyönä. Työ aloitetaan kohteessa maaperäkairauksilla, pohjavesiputkien asennuksella ja näytteenotolla, jossa koulun maaperästä ja pohjavedestä otetaan näytteet ja lähetetään Ramboll Analyticsin Lahden laboratorioon analysoitavaksi. Näytteenotolla halutaan tietoa öljyn liikkumisesta maaperässä ja pohjavedessä. Saatujen tulosten avulla riskinarviointi tehdään pohjavesi- ja sisäilmakulkeutumisen osalta laskennallisena tarkennettuna arviointina ja muilta osin sanallisena tarkennettuna arviointina Valtioneuvoston asetuksen 214/2007 mukaisesti. Riskinarviointiraportti palautetaan työn valmistuttua Keuruun kaupungille.

Tämän opinnäytetyön alussa esitellään pilaantuneeseen maaperään ja pohjaveteen liittyvää ympäristölainsäädäntöä. Sen jälkeen esitellään pilaantuneita maita koskevan riskinarvioinnin yleiset tavoitteet ja menetelmät. Tämän jälkeen esitellään öljyhiilivetyjen ominaisuuksia ja niiden kunnostamismenetelmiä. Työn lopuksi esitellään riskinarviointikohteen taustatiedot, valitut riskinarviointimenetelmät, niiden toteutus sekä arvioinnista saatavat tulokset, jatkotoimenpiteet ja johtopäätökset.

## 2 PILAANTUNUTTA MAAPERÄÄ KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ

### 2.1 Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi

Ympäristöhallinnon ohje 2/2007 käsittelee maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointia. Ohje tarkentaa ns. PIMA-asetuksen (Valtioneuvoston asetus 214/2007) yleisiä periaatteita, ohjaa arvioinnin suorittamista ja tarjoaa päätöksentekoa tukevaa taustatietoa. (Valtion ympäristöhallinto.)

Ohjeessa esitetään maaperän pilaamisesta seuraavaa:

Maaperän pilaaminen on kielletty ympäristönsuojelulaissa (86/2000). Lain 7§:n (maaperän pilaamiskielto) mukaisesti maaperän laatua ei saa huonontaa jättämällä tai päästämällä sinne jätteitä tai muita aineita, jotka voivat

- haitata tai vaarantaa ihmisen terveyttä tai ympäristöä,
- vähentää viihtyisyyttä tai
- muuten loukata yksityistä tai yleistä etua. (Ympäristöministeriö 2007, 14.)

*Maaperän pilaamiskiellot ja ympäristönsuojelulain yleiset periaatteet (YSL 4§) tähtäävät siihen, että haitallisten aineiden vaikutukset ympäristössä estetään ennakolta tai mikäli niitä ei voida kokonaan estää, rajoitetaan mahdollisimman vähäisiksi. Näiden periaatteiden huomioon ottaminen vaikuttaa siten myös maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointiin. (Ympäristöministeriö 2007, 14.)*

Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa noudatetaan PIMA-asetusta. Sen mukaan maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin on perustuttava kohdekohtaiseen arvioon maaperässä olevien haitallisten aineiden mahdollisesti aiheuttamasta vaarasta tai haitasta terveydelle ja ympäristölle eli ns. riskinarvioon. PIMA-asetuksen liitteessä on esitetty 52 yleisimmin maaperää pilaavan haitallisen aineen pitoisuuksien kynnys- ja ohjearvot, joita käytetään riskinarvioinnin apuna. Arviointi tulee yleensä ajankohtaiseksi, kun ympäristössä havaitaan kohonneita haitta-ainepitoisuuksia tai niiden vaikutuksia, ympäristöä pilannut toiminta päättyy, alueen maankäyttö muuttuu tai pilaantuneeksi epäilty alue on yritys- ja kiinteistökauppojen kohteena. Arviointi ei koske kohteita, joissa kynnysarvojen ylitykset johtuvat maaperässä esiintyvien aineiden luontaisesti korkeista pitoisuuksista. Näitä haitta-aineita voivat olla esimerkiksi metallit. (Valtion ympäristöhallinto.)

PIMA-asetuksen 2§:n mukaan maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa on otettava huomioon:

- maaperässä todettujen haitallisten aineiden pitoisuudet, ominaisuudet, kokonaismäärä, sijainti ja taustapitoisuudet,
- maaperä- ja pohjavesiolosuhteet alueella sekä tekijät, jotka vaikuttavat haitallisten aineiden kulkeutumiseen ja leviämiseen alueella sekä sen ulkopuolella,
- altistumismahdollisuus haitallisille aineille lyhyen ja pitkän ajan kuluessa,
- alueen ja sen ympäristön ja pohjaveden nykyinen ja suunniteltu käyttötarkoitus,
- altistumisen seurauksena terveydelle ja ympäristölle aiheutuvan haitan vakavuus ja todennäköisyys sekä haitallisten aineiden mahdolliset yhteisvaikutukset sekä



- käytettävien tutkimustietojen ja muiden lähtötietojen sekä arviointimenetelmien epävarmuus. (Ympäristöministeriö 2007, 15.)

## 2.2 Kynnys- ja ohjearvojen sekä taustapitoisuuksien käyttö arvioinnissa

Valtioneuvoston asetuksen 214/2007 (PIMA-asetus) mukaan alueen pilaantuneisuus ja kunnostustarve tulee selvittää, jos PIMA-asetuksen kynnysarvot ja taustapitoisuudet sekä muut vertailuarvot, kuten ympäristölle ja terveydelle asetetut laatuvaatimukset ja -tavoitteet ylittyvät. Asetuksen 3§:n (kynnysarvojen soveltaminen) mukaan maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava, jos yhden tai useamman haitallisen aineen pitoisuus maaperässä ylittää asetuksessa säädetyn kynnysarvon tai taustapitoisuusarvon, jos alueen taustapitoisuus on kynnysarvoa suurempi. (Valtion ympäristöhallinto; VNa 214/2007.)

PIMA-asetuksen 4§:n (ohjearvojen soveltaminen) mukaan maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa on käytettävä apuna asetuksen liitteessä säädettyjä maaperän haitallisten aineiden ohjearvoja. Maaperää pidetään yleisesti pilaantuneena sellaisilla alueilla, joita käytetään teollisuus-, varasto-, tai liikennealueena tai muuna vastaavana alueena, jos yhden tai useamman aineen pitoisuus ylittää säädetyn ylemmän ohjearvon. Yleensä herkkyydeltään tavanomaisessa maankäytössä vertailuarvona käytetään alemmaa ohjearvoa. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi asuin-, puisto- ja virkistysalueet. Maaperää pidetään pilaantuneena kyseisillä alueilla, jos yhden tai useamman haitta-aineen pitoisuus ylittää säädetyn alemman ohjearvon. (VNa 214/2007; Ympäristöministeriö 2007, 42.)

Mikäli pitoisuudet ovat vertailuarvoina käytettäviä ohjearvoja pienempiä, mutta kynnysarvoja suurempia, alue ei todennäköisesti ole pilaantunut eikä puhdistamistarvetta tällöin ole. Maaperässä on kuitenkin haitallisia aineita, jotka tulee ottaa huomioon esimerkiksi maankäytön muuttuessa tai maata kaivettaessa. Kynnysarvot ylittävien, kaivettujen maa-ainesten käsittelyyn ja sijoittamiseen liittyy rajoituksia. (Ympäristöministeriö 2007, 43.)

PIMA-asetuksen 5§:n mukaan maaperän pilaantuneisuuden ja taustapitoisuuksien selvittämiseksi on otettava näytteitä, jotka edustavat hyvin tutkittavaa aluetta sekä sen maaperää ja pohjavettä. Haitallisten aineiden tutkimusten tulee perustua standardoituihin tai muihin niitä luotettavuudeltaan vastaaviin menetelmiin. (VNa 214/2007.)

## 2.3 Pilaantuneen alueen puhdistamisvelvollisuudet

Ympäristönsuojelulain (75§, Maaperän ja pohjaveden puhdistamisvelvollisuus) mukaan pilaantumisen aiheuttajalla on ensisijainen vastuu pilaantuneen maaperän puhdistamistarpeen selvittämisestä ja puhdistamisesta siihen tilaan, ettei siitä voi aiheutua terveyshaittaa eikä vaaraa tai haittaa ympäristölle. Pilaantuneen alueen kiinteistönomistaja tai -haltija tai kunta voi joutua kunnostamaan pilaantuneen alueen, jos pilaamisen aiheuttajaa ei saada vastuuseen. Kunnan on selvittettävä maaperän puhdistamisstarve ja puhdistettava maaperä kun kiinteistön haltijaa ei voida velvoittaa puhdis-

tamaan pilaantunutta maaperää. Kun pilaantuneesta maa-alueesta aiheutuu vahinkoa tai haittaa, pilaantumisen aiheuttaja on tietyissä tapauksissa velvollinen korvaamaan taloudelliset vahingot haitan kärsijälle. (Valtion ympäristöhallinto.)

Maanomistajan tai vuokraajan on ilmoitettava uudelle omistajalle tai vuokraajalle asioista, jotka ovat voineet tai voivat pilata maaperää tai pohjavettä. Tästä myyjän ns. selontekovelvollisuudesta on säädetty ympäristönsuojelulaissa. Myös ostajalla on velvollisuus selvittää kaupan kohteen kuntoa. Vastuu pilaantuneen alueen puhdistamisesta voi siirtyä alueen uudelle haltijalle tai omistajalle, vaikka hän ei itse olisi edes aiheuttanut maaperän pilaantumista. Puhdistamisvastuu siirtyy niissä tapauksissa, joissa kiinteistön tai alueen uusi haltija on tietoinen alueen pilaantumisesta tai hänellä on mahdollisuus epäillä ja todeta pilaantuminen. (Valtion ympäristöhallinto.)

Jos pilaantuminen on aiheutunut lainsäädännön tai lupamääräysten vastaisesta toiminnasta, tai jos puhdistamisvastuuta laiminlyödään, pilaantumisen aiheuttaja saattaa joutua myös rikosoikeudelliseen vastuuseen. (Valtion ympäristöhallinto.)

## 2.4 Pohjaveden pilaaminen

Maaperän haitalliset aineet voivat kulkeutua pohjaveteen. Pohjavedessä aineet leviävät pohjavesivirtausten mukana. Kulkeutumiseen vaikuttavat pohjaveden virtauskuva, maaperän ominaisuudet pohjavesikerroksessa sekä haitta-aineiden ominaisuudet. Pohjaveden olosuhteista saadaan tietoa mm. alueella tehtävillä pohjavesitutkimuksilla sekä alueellisista pohjavesikartoituksista ja -tarkkailuista. Pohjaveden pilaantumisriski tulee arvioida aina, mikäli maaperän haitallisilla aineilla on mahdollisuus pilata pohjavettä tai muuttaa sen laatua. (Ympäristöministeriö 2007, 36.)

Ympäristönsuojelulaki (86/2000) kieltää pohjaveden pilaamisen (8§, pohjaveden pilaamiskielto). Lain mukaan pohjaveteen ei saa päästää haitallisia aineita siten, että

- tärkeällä tai muulla vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella pohjavesi voi muuttua terveydelle vaaralliseksi tai sen laatu muutoin olennaisesti huonontua,
- toisen kiinteistöllä oleva pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai kelpaamattomaksi tarkoitukseen, johon sitä voitaisiin käyttää tai
- vaikuttamalla pohjaveden laatuun muutoin loukaten yleistä tai toisen yksityistä etua. (Ympäristöministeriö 2007, 16.)

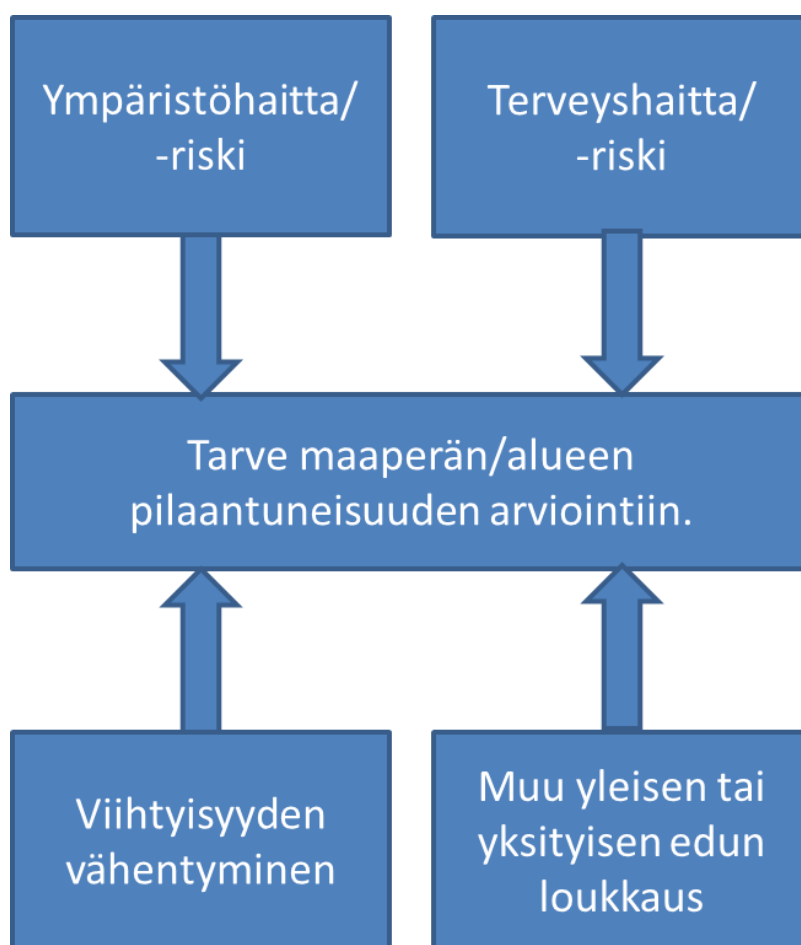
Pohjaveden pilaantuneisuutta arvioidaan ympäristönsuojelulain ja terveysperusteilla annettujen säädösten perusteella. EU:n vesipolitiikan puitedirektiiviin (2000/60/EY) liittyvässä pohjavesitytärdirektiivissä (2006/118/EY) on asetettu pohjaveden hyvän kemiallisen tilan arviointia varten laatunormit nitraatin ja torjunta-aineiden osalta. Lisäksi se edellyttää kansallisten kriteerien (VNa 341/2009) asettamista pohjaveden hyvän kemiallisen tilan arvioimiseksi. Nämä laatunormit ja raja-arvot ovat perustana pohjaveden suojelu- ja puhdistustarpeen arvioinnissa sekä maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa silloin, kun maaperän pilaantumisesta voi aiheutua riski pohjaveden laadulle. (Ympäristöministeriö 2007, 16.)

Kun pohjavettä käytetään talousvetenä, tulee pohjaveden puhdistustarpeen ja -tavoitteiden määrittämisessä ottaa huomioon myös sosiaali- ja terveysministeriön talousvedelle asettamat laatuvaatimukset ja -suositukset (STM:n asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (461/2000)). Asetuksessa on esitetty terveysriskien perusteella määritetyt enimmäispitoisuudet useille talousvedessä mahdollisesti esiintyville haitta-aineille. (Ympäristöministeriö 2007, 16 - 17.)

### 3 PILAANTUNEEN MAAN RISKINARVIOINTI

#### 3.1 Riskinarvioinnin tavoitteet

Riskinarvioinnin tavoitteena on selvittää haittojen ja riskien kannalta olennaiset haitalliset aineet ja niiden lähteet. Lisäksi haitta-aineiden mahdolliset kulkeutumisreitit ja altistumistilanteet tulee selvittää. Ympäristönsuojelulain mukaan maaperän pilaantumiseen liittyvät haitat voivat kohdistua ihmisen terveyteen, ympäristöön, yleiseen viihtyvyyteen sekä yleisen tai yksityisen edun loukkaamiseen (kuvio 1). Kun haitan tai vaaran todentumisesta ei ole tarkkaa tietoa, puhutaan riskistä. Sen suuruus määräytyy haittojen vakavuuden ja todennäköisyyden perusteella. (Valtion ympäristöhallinto; Ympäristöministeriö 2007, 21.)



Kuvio 1 Arvioinnin tarpeeseen vaikuttavia tekijöitä. Muokattu lähteestä (Ympäristöministeriö 2007. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi, 21.)

Ympäristö- ja terveysriskiin vaikuttavat esimerkiksi:

- maaperä- ja pohjavesiolosuhteet,
- haitalliset aineet ja niiden määrät, pitoisuudet ja ominaisuudet,
- alueen ja sen ympäristön sekä pohjaveden nykyinen ja suunniteltu käyttö ja
- altistuminen haitallisille aineille lyhyen ja pitkän ajan kuluessa. (Valtion ympäristöhallinto.)

## Terveysriskit

Terveysriskillä tarkoitetaan sellaisia ihmisen terveyteen kohdistuvia haittoja, jotka voivat aiheutua altistumisesta haitallisille aineille. Terveyshaitat saattavat olla erilaisia ja näkyä monilla eri tavoilla, esimerkiksi ihottumana tai hengitystiesairauksina. Riskinarviointi edellyttää arviota altistuksen määräästä ja kestosta sekä tietoa haitta-aineiden vaikutuksista. (Valtion ympäristöhallinto.)

## Ympäristöriskit

Ympäristöriskeillä tarkoitetaan haitallisia vaikutuksia, joita maaperän haitta-aineet voivat aiheuttaa vaikutusalueen eliöstössä. Vaikutukset voivat näkyä eri tasoilla, kuten pohjaveden tai sisäilman laadun sekä maaperän mikrobitoiminnan heikentymisenä. Vaikutuksina saattavat olla myös häiriöt tietyn lajin lisääntymisessä tai lajilukumäärän vähentyminen. (Valtion ympäristöhallinto.)

### 3.2 Riskinarviointimenetelmät

Maaperän pilaantuneisuuden arvioinnin tarve määräytyy kohteen toimintahistorian sekä kohteessa tehtyjen havaintojen perusteella. Jos kohteen maaperän pilaantuminen näiden tietojen pohjalta on mahdollista, tulee haitta-aineiden esiintyminen selvittää maaperätutkimuksilla ja muilla selvityksillä. Tässä työssä käsiteltyjä arviointimenetelmiä voidaan käyttää kun maaperän ja/tai pohjaveden pilaava haitta-aine tunnetaan. Jos haitta-ainetta ei tiedetä, arviointimenettely voi olla erilainen. Arvioinnin toteutustapa ja menetelmät sen määrittämiseksi valitaan tapauskohtaisesti. Käytännössä arvioinnin perustana ovat pitoisuusmittaukset, muut haitta-aine- ja kohdetutkimukset sekä näiden pohjalta tehtyjen laskelmien tulosten vertaaminen maaperän ohjearvoihin ja muihin vertailuarvoihin. (Valtion ympäristöhallinto.)

Yksinkertaisimmillaan arvio voidaan tehdä suoraan vertaamalla alueelta mitattuja pitoisuuksia PIMA-asetuksessa säädettyihin kynnys- ja ohjearvoihin. Tässä tapauksessa on kuitenkin varmistuttava siitä, että ohjearvoja voidaan soveltaa kohteessa, ja että alueen mittaustulokset edustavat alueen silloista tilaa. Pilaantuneisuuden vertailuarvoina käytetään alempia ja ylempiä ohjearvoja alueen maankäytön mukaisesti. (Valtion ympäristöhallinto.)

Maaperää pidetään pilaantuneena ja kunnostamista usein tarpeellisena maankäytön mukaisten ohjearvojen ylittyessä. Riskit voidaan kuitenkin tarkemman arvioinnin avulla osoittaa olevan hyväksyttävällä tasolla kohonneista pitoisuuksista huolimatta. Maaperän kunnostaminen voidaan toisinaan todeta tarpeelliseksi myös ohjearvojen alittuessa. Tällöin kyseessä voi olla esimerkiksi pohjaveden pilaantumisriski. (Valtion ympäristöhallinto.)

Jos arvioinnissa voidaan todeta kaikkien olennaisten haittojen ja riskien olevan merkityksettömän pieniä eli hyväksyttäviä, tällöin alueen maaperä ja pohjavesi eivät ole pilaantuneita, eikä niillä ole kunnostustarvetta. Maankäytöstä ja haitta-aineiden pitoisuuksista riippuen tämän kaltaisiin kohteisiin voi jäädä maa-ainesten ja maankäytön rajoituksia. (Valtion ympäristöhallinto.)

Maaperätutkimuksia sekä maaperän pilaantuneisuuden ja kunnostustarpeen arviointia tekevät mm. konsulttiyritykset ja muut asiantuntijatahot. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus) tarkistaa arvioinnin ja päättää maaperän kunnostamisesta sekä sen tavoitteista. (Valtion ympäristöhallinto.)

Ympäristöministeriön oppaassa 2/2007 arviointimenettelyn vaiheita on kolme:

- arviointitarpeen tunnistaminen,
- perusarviointi ja
- tarkennettu arviointi.

Näiden kolmen vaiheen avulla riskit tunnistetaan, määritetään, kuvataan sekä arvioidaan niiden hyväksyttävyyden. Arvioinnin vaiheittainen lähestymistapa on ohjeessa esitetty tukemaan tietojen keruuta, käsittelyä ja dokumentointia. Aina arviointia ei ole kuitenkaan tarkoitus esittää vaiheittaisena. Arvioinnin vaiheet on esitetty kuviossa 2. Arvioinnin vaiheiden sisällöt on avattu seuraavissa alaluvuissa. (Ympäristöhallinto 2007, 22.)

### 3.2.1 Arviointitarpeen tunnistaminen

Arviointimenettelyn ensimmäisessä vaiheessa arvioinnin tarve määritetään kohteen historiatietojen perusteella. Kohteen historiasta kootaan pääosin tietoa sellaisesta toiminnasta, josta on saattanut päästä maaperään haitallisia aineita. Arvioinnin tarve määritetään lisäksi pitoisuusmittausten ja valtioneuvoston asetuksessa (214/2007) säädettyihin kynnysarvo-/ taustapitoisuuksien vertailun perusteella. Kynnysarvo vastaa pitoisuustasoa, jossa maa-aineksessa olevan haitallisen aineen aiheuttamia riskejä voidaan pitää merkityksettöminä riippumatta missä kyseinen maa-aines sijaitsee tai mihin sitä käytetään. Taustapitoisuudella tarkoitetaan haitallisten aineiden luontaisia pitoisuuksia maaperässä tai pintamaassa, jotka ovat peräisin useasta eri päästölähteestä eivätkä kohteessa harjoitusta toiminnasta. Jos kynnysarvot ja taustapitoisuudet ylittyvät tai arviointi muusta syystä, muun muassa rakennuksen sisäilman tai pohjaveden kohonneiden haitta-ainepitoisuuksien vuoksi, todetaan tarpeelliseksi, siirrytään perusarviointiin. Niiden haitta-aineiden osalta, joille ei ole annettu kynnysarvoa, arviointitarve selvitetään erikseen. Muissa tapauksissa voidaan todeta maaperän olevan pilaantumaton eikä puhdistustoimenpiteitä tarvita. Tällöin myöskään arviointia ei tarvitse jatkaa. (Ympäristöhallinto 2007, 22 - 27.)

### 3.2.2 Perusarviointi

Perusarvioinnissa pilaantuneisuus ja puhdistustarve arvioidaan kohteen maankäytön ja ympäristöolosuhteiden sekä kohteessa todettujen haitta-aineiden tietojen perusteella. Perusarvioinnissa kuvataan kohteen ominaispiirteet, jotka saattavat vaikuttaa maaperän haitta-aineista tai kohteesta muihin ympäristönsiin kulkeutuneista aineista aiheutuviin ympäristö- ja terveysriskeihin. Ominaispiirteitä ovat mm. kulkeutuminen, altistujat, altistusreitit ja haitalliset vaikutukset. Tarvittavat tiedot kootaan kirjallisuudesta ja kohteesta valmiina olevista aineistoista kuten kartoista, maankäyttö- ja kaa-

vatiedoista, tutkimusraporteista, maaperä-, kallioperä-, pohjavesi- ja vesistötiedoista jne. Kohteeseen tehdään myös maastokäynti sekä tarvittaessa tietoja hankitaan erilaisilla kohdetutkimuksilla kuten pohjavesiputkien asennuksella ja maaperäkairauksilla. Kohdetietojen perusteella voidaan muodostaa käsitteellinen malli haitta-aineiden esiintymisestä maaperässä, niiden mahdollisista kulkeutumisreiteistä ja niille altistuvista kohderyhmistä. (Ympäristöhallinto 2007, 22 - 32.)

Haitallisten aineiden ympäristölle ja terveydelle aiheuttamien riskien luonne ja suuruus riippuvat haitta-aineiden kulkeutumisesta, eliöiden ja ihmisten altistumisesta näille aineille sekä altistumisen seurauksena aiheutuvista vaikutuksista. Näitä arvioidaan aineiden ympäristöpitoisuuksien, kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien kuten kulkeutuvuuden, kertyvyyden ja pysyvyyden sekä myrkyllisyyden perusteella. Haitallisten aineiden kokonaismäärä vaikuttaa aineiden leviämiseen ja ympäristössä pysymiseen. (Ympäristöhallinto 2007, 34 - 35.)

Riskin suuruus saadaan vertaamalla kohteen maaperästä ja tarvittaessa muista ympäristönsistä mitattuja haitta-ainepitoisuuksia ohje- ja viitearvoihin. Arvojen ylittyessä maaperä tai muu ympäristönsä kuten pohja- tai pintavesi todetaan pilaantuneeksi ja puhdistaminen tarpeelliseksi. (Ympäristöhallinto 2007, 22, 35.)

Mitattujen haitta-ainepitoisuuksien vertaaminen ohje- ja viitearvoihin ei riitä riskien määrittämiseen kaikissa kohteissa. Tämä johtuu mm. arvojen määrittämisperusteista ja niihin liittyvistä epävarmuuksista. Tällöin siirrytään tarkennettuun arviointiin, vaikka haitta-aineiden ohje- ja viitearvot eivät kohteessa ylittysikään. Perusarviointissa tunnistetaan ja kuvataan tekijät, jotka vaikuttavat siihen, voidaanko riskit määrittää ohje- ja viitearvoilla. (Ympäristöhallinto 2007, 22.)

Perusarviointissa tulee tunnistaa ympäristö- ja terveysriskien lisäksi muut ympäristösuojelulain 7§:n mukaiset haitat, kuten viihtyisyyden väheneminen tai hyvinvoinnin heikentyminen, ja tarvittaessa arvioida näiden vaikutus alueen pilaantuneisuuteen ja puhdistustarpeeseen. Epäily alueen pilaantuneisuudesta laskee kiinteistön ja sen lähiympäristön arvoa ja arvostusta. Haitalliset aineet saattavat myös vaikuttaa rakenteisiin ja rakennusmateriaaleihin. (Ympäristöhallinto 2007, 22, 47 - 48)

Arvioinnissa käytettäviin lähdetietoihin ja tutkimuksiin liittyy aina epävarmuutta. Arvioinnin kaikissa vaiheissa tulee kiinnittää huomiota ympäristöstä otettujen näytteiden edustavuuteen sekä lähtötietojen luotettavuuteen ja kattavuuteen. Yleisimmät epävarmuustekijät liittyvätkin alueen pilaantuneisuushistoriaan, haitallisten aineiden jakautumiseen kohdealueella ja tutkimusten riittävyteen sekä tulosten kattavuuteen. (Ympäristöhallinto 2007, 41.)

### 3.2.3 Tarkennettu arviointi

Jos perusarviointissa ei voida tehdä riittävän luotettavia johtopäätöksiä alueen pilaantuneisuudesta ja puhdistustarpeesta, arviointia tarkennetaan. Tarkennetussa arvioinnissa lähtötietoja käsitellään ja sovelletaan perusarviointia pidemmälle. Kohteesta tarvitaan enemmän tietoa esimerkiksi haitta-aineiden esiintymisestä ja käyttäytymisestä maaperässä sekä muissa ympäristönsissä. Tietoa tarvi-

taan lisäksi alueen pohja- ja pintavesiolosuhteista sekä muista haitta-aineen kulkeutumiseen ja altistumiseen vaikuttavista tekijöistä. Tarkennetussa arvioinnissa käytetään apuna usein erilaisia kulkeutumis- ja altistumismalleja. Tarvittaessa arviointia voidaan täydentää erilaisilla altistustesteillä. (Ympäristöhallinto 2007, 22 - 23.)

Arviointi voidaan lopettaa jos kohteen maaperä tai muu ympäristönosa päätetään kunnostaa tai haitallisia aineita sisältävät maa-massat kaivetaan pois esimerkiksi rakentamisen johdosta. Tässä tapauksessa tulee kuitenkin osoittaa, että maaperän haitallisten aineiden pitoisuudet ja niistä mahdollisesti aiheutuvat riskit ovat maaperän kunnostamisen jälkeen hyväksyttävällä tasolla. (Ympäristöhallinto 2007, 23.)

Tarkennetun arvioinnin tavoitteenasettelu sekä rajaukset tehdään ja perustellaan tapauskohtaisesti. Tavoitteenasetteluun vaikuttavat aina ympäristönsuojelun edellyttämä taso ja pitkän aikavälin tavoitteet, jotka muodostuvat pääosin ympäristölainsäädännön perusteella. Yleiseen rajaukseen sisältyy tarkasteltavien riskien ja haitta-aineiden määrittely, arvioinnin alueellinen ja ajallinen rajausta sekä arviointimenetelmien valinta. Tarkennetussa arvioinnissa keskitytään riskien kannalta tärkeimpiin haitta-aineisiin, olennaisimpiin altistusreitteihin ja -tilanteisiin sekä todennäköisimpiin ja eniten altistuviin kohderyhmiin. Lisäksi keskitytään niiden riskien tarkasteluun, joita yleisillä ohje- ja viitearvoilla ei voi riittävän tarkasti määrittää tai joista aiheutuvat riskit eivät perusarvioinnin perusteella ole hyväksyttävällä tasolla. Arvioinnin määrittämiseen käytetään siihen tarkoitettuja kvalitatiivisia (laadullisia) ja kvantitatiivisia (määrällisiä) menetelmiä. Menetelmät ja niiden perusteella saadut johtopäätökset kuvataan arvioinnissa epävarmuustekijät huomioon ottaen. (Ympäristöhallinto 2007, 23, 49 - 50.)

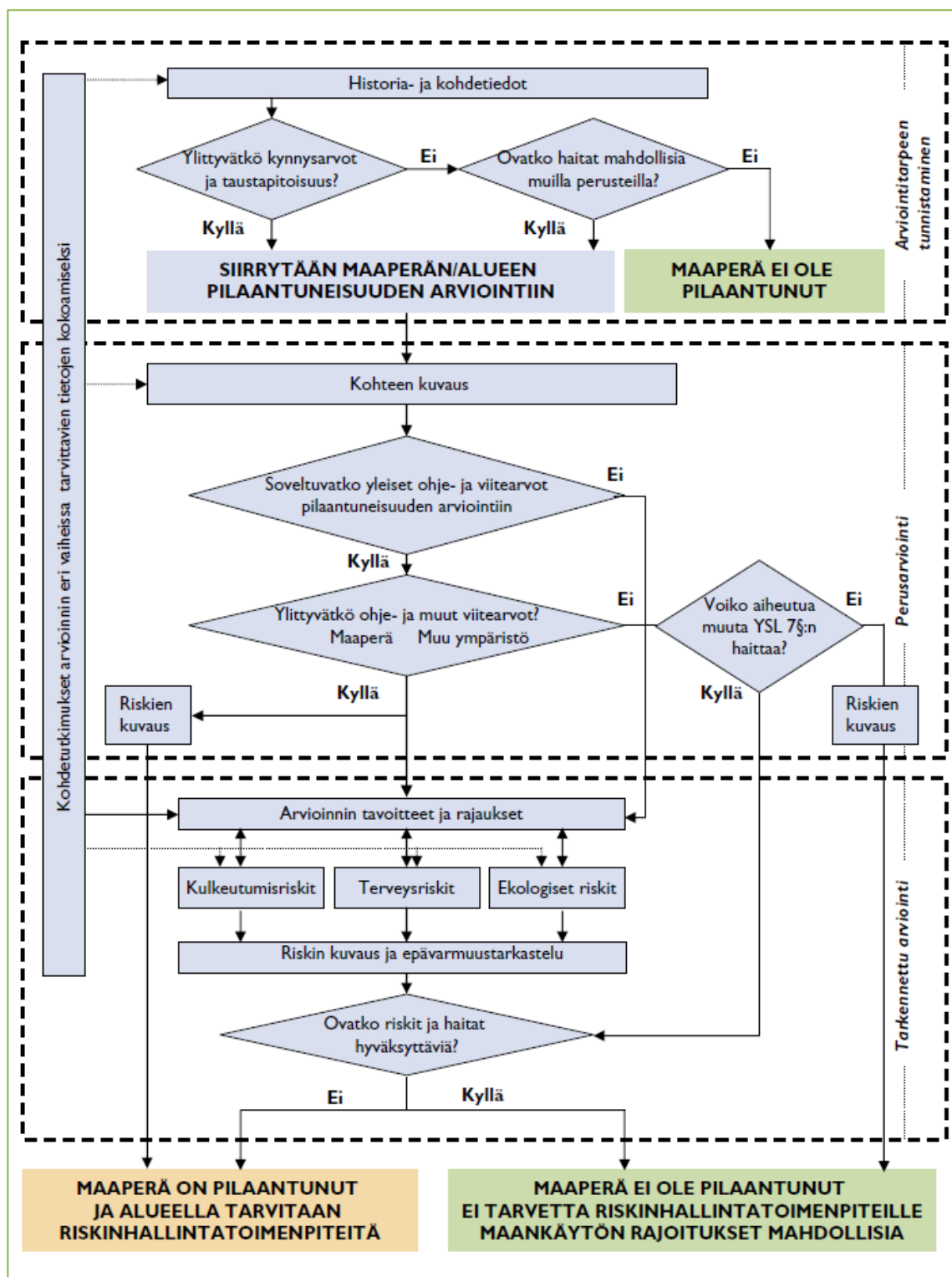
Arviointimenetelmät valitaan tapauskohtaisesti. Ne voivat perustua haitta-aineiden ympäristökäyttäytymiseen, ihmisten ja eliöiden altistumiseen tai vaikutusten laskennalliseen mallintamiseen. Laskennallisia mallintamisohjelmia ovat mm. SOILIRISK, Caltox, SSL, RAIS, CLEA. Lisäksi arviointimenetelmät voivat perustua ympäristötutkimuksiin ja -mittauksiin, joita ovat esimerkiksi haitta-aineiden liukoisuustestit, pohjaveden virtauskuva ja maaperän ominaisuudet. Matemaattisilla laskentamalleilla voidaan ennustaa suurelta osin maaperän pilaantuneisuudesta aiheutuvat haitat. Ne voivat olla riskinarviointiin erikseen käytettyjä ohjelmistoja, tilastolliseen aineistoon perustuvia laskentatyökaluja, teoreettisia tai kokemusperäiseen tietoon perustuvia laskentayhtälöitä. Mallinnuksen käyttö edellyttää, että arvioinnin tekijä tuntee riittävän hyvin mallin laskennallisen teorian ja arviointikohteesta malliin syötettävät lähtötiedot, joita ovat esimerkiksi maaperään, pohjaveteen ja kohteen käyttöön liittyvät tiedot. Malleilla voidaan arvioida haitta-aineiden kulkeutumista ja pitoisuuksien muutosta ympäristönosasta toiseen kuten maaperästä pohjaveteen. Useimmilla malleilla voidaan myös ennustaa ihmisten altistumista ja ekologisia muutoksia ympäristössä. (Ympäristöhallinto 2007, 51 - 55.)

Arvioinnin luotettavuutta arvioidaan laadullisen tai määrällisen epävarmuustarkastelun avulla. Epävarmuutta lisäävät arvioinnissa käytetyn tiedon puute tai vaihtelu ja käytettävien arviointimenetelmien rajoitteet. Tiedonpuutteeseen liittyviä epävarmuustekijöitä ovat esimerkiksi arvioinnissa käytettyjen parametrien valinta, haitta-aineen kulkeutumis- ja pitoisuustietojen edustavuus ja riittämättömyys, tehdyt oletukset kulkeutumis- ja altistusreiteissä sekä näiden yhteisvaikutukset. Arviointime-



netelmiin liittyviä epävarmuustekijöitä ovat niiden soveltuvuus kyseiseen kohteeseen ja tarkasteltavien ilmiöiden kuvaamiseen. Näitä kaikkia epävarmuustekijöitä voidaan vähentää tarkentavilla lisätutkimuksilla ja mittauksilla sekä käyttämällä arviointiin useampia menetelmiä. (Ympäristöhallinto 2007, 58.)

Riskien kuvaus on arviointiprosessin viimeinen vaihe (kuvio 2). Siinä esitetään arvio riskien suuruudesta, luonteesta ja hyväksyttävyydestä. Riskin kuvaus perustuu tehtyihin selvityksiin ja määrittäisiin (kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset riskinarviot). Sen johtopäätöksenä esitetään arvio maaperän pilaantuneisuudesta ja puhdistustarpeesta. Riskien käsitteeseen sisältyy arvio haitan todennäköisyydestä, jonka takia riskiä ei voi koskaan täysin poistaa. Riskit voivat kuitenkin olla hyväksyttäviä, mutta siitä päätetään aina tapauskohtaisesti. (Ympäristöhallinto 2007, 62.)



Kuvio 2 Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistarpeen arvioinnin eri vaiheet. (Ympäristöministeriö, Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007, 24.)

### 3.2.4 Riskinarvioinnin dokumentointi

Riskinarviointi on dokumentoitava kattavasti, jotta sitä ja sen tuloksia voidaan hyödyntää myös tulevaisuudessa. Dokumentissa tulee esittää arvioinnin tavoitteet, rajaukset ja itse arviointimenettely. Arvioinnin aikana tehdyt valinnat perustellaan ja tulokset sekä johtopäätökset esitetään täsmällisesti. Tiedot tulisi myös tallentaa ympäristöhallinnon ylläpitämään Maaperän tilan tietojärjestelmään (MATTI). Tietojärjestelmään kerätään tietoja alueista, joiden pilaantuneisuus ja puhdistustarve on selvitettävä ja alueista, joiden maaperä on puhdistettava sekä alueista joilla ei ole maaperän puhdistamistarvetta. (Ympäristöhallinto 2007, 25.)

## 4 ÖLJYHIILIVEDYT MAAPERÄSSÄ

### 4.1 Maaperän ja pohjaveden pilaantuminen Suomessa

Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2013 tekemän tutkimuksen mukaan Suomessa on noin 23 900 pilaantuneeksi epäiltyä, todettua tai jo kunnostettua maa-aluetta. Kunnostuspäätöksiä on tehty 1980-luvulta lähtien noin 4 900. Suurin osa kartoitetuista kohteista sijaitsee alueilla, joilla toimintaa on harjoitettu useita vuosia. Yleisimmät maaperää pilaavat toimialat ovat kaatopaikat, polttoaineiden jakelu sekä moottoriajoneuvojen huolto ja korjaus. Näiden lisäksi laaja-alaisia pilaantuneita alueita löytyy ampumaradoilta, erilaisilta saha-, teollisuus-, kaivos- ja varastointialueilta. Eniten pilaantuneita alueita on Etelä-Suomessa ja rannikolla, jonne teollisuus, yritystoiminta ja asutus ovat keskittyneet. Noin joka viides pilaantunut alue sijaitsee pohjavesialueella, joka viides asutusalueella ja joka kymmenes luonnonsuojelualueella. (Valtion ympäristöhallinto.)

Maaperän tai pohjaveden pilaantumista voivat aiheuttaa erilaiset epäorgaaniset tai orgaaniset aineet, joita joutuu maaperään ympäristölle tai terveydelle haitallisia määriä. Suomessa yleisimpiä maaperää pilaavia aineita ovat öljy-yhdisteet, raskasmetallit kuten lyijy, sinkki ja kupari, klooratut hiilivety-yhdisteet (mm. DDT- ja PCB-yhdisteet), torjunta-aineet ja dioksiinit. Polttoaineen lisäaineenä käytetty MTBE aiheuttaa pohjavedessä maku- ja hajuhaittoja. (Penttinen 2001, 7.)

### 4.2 Öljyhiilivetyjakeet sekä niiden kynnys- ja ohjearvot

Valtioneuvoston asetuksen 214/2007 (PIMA-asetus) ohjearvot öljyhiilivedyille on jaoteltu hiililuvun ( $C_n$ ) perusteella eri jakeisiin:

- bensiinijakeet ( $C_5$ - $C_{10}$ ),
- keskitisleet ( $>C_{10}$ - $C_{21}$ ),
- raskaat öljyjakeet ( $>C_{21}$ - $C_{40}$ ) ja
- summapitoisuus ( $>C_{10}$ - $C_{40}$ ) (Reinikainen 2007, 151).

Öljyhiilivetyjen kynnys- ja ohjearvoja voidaan käyttää tunnistettaessa alustavasti maaperään pääseen öljyn koostumuksia ja mahdollisia riskejä. Eri öljyhiilivety-yhdisteiden kynnys- ja ohjearvot on esitetty taulukossa 1. Öljyhiilivetykoostumuksen tarkempaan selvittämiseen ja öljystä aiheutuvien ympäristö- ja terveysriskien arviointiin suositellaan käytettäväksi ns. fraktiokohtaista lähestymistapaa. Menettely perustuu öljyhiilivetyjen riskinarviointia kehittäneen työryhmän (Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group) esittämään ohjeeseen, jossa öljyhiilivedyt jaetaan kuuteen alifaattiseen ja seitsemään aromaattiseen hiilivetyfraktioon ns. hiiliekvivalenttien mukaan. Hiiliekvivalentti määräytyy aineen kiehumispisteen perusteella ja vastaa sen kulkeutumisaikaa kaasukromatografian kolonnissa n-alkaaneihin verrattuna. (Reinikainen 2007, 150.)

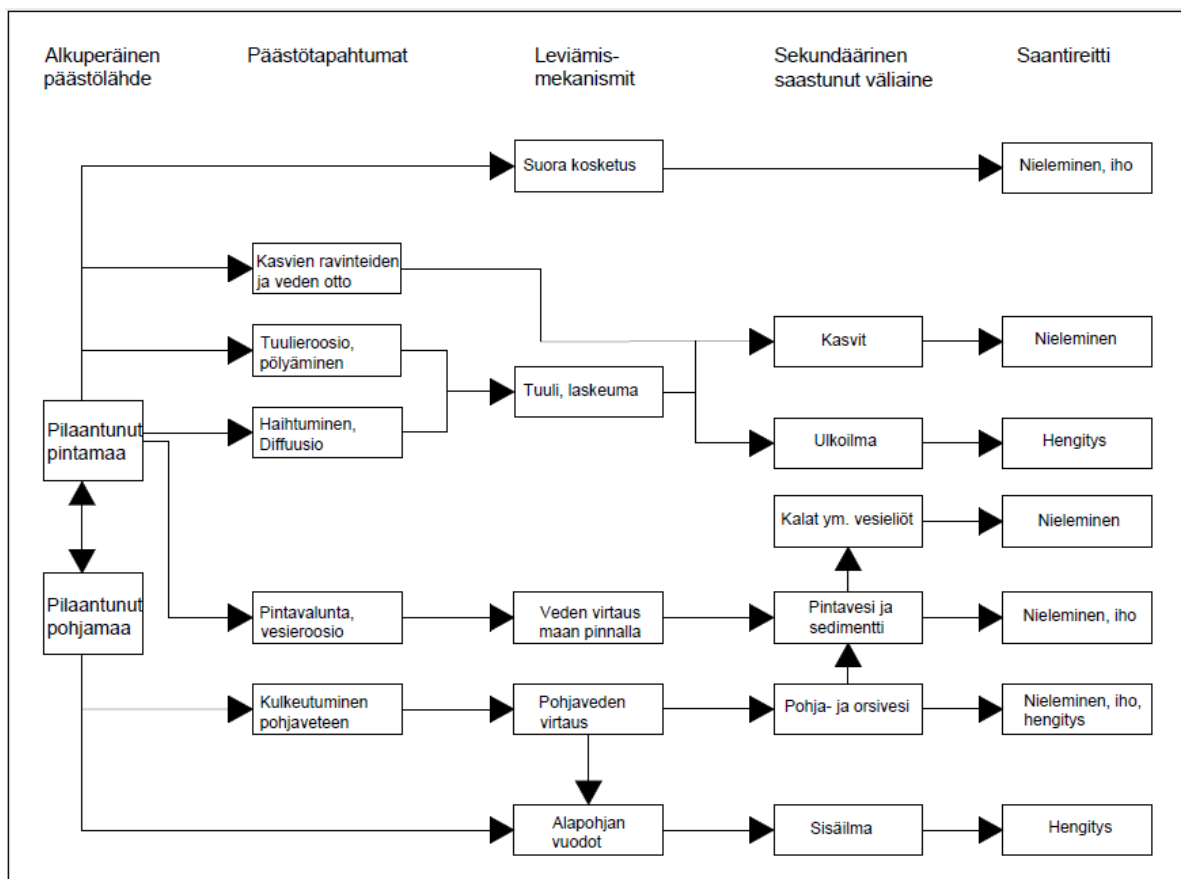
Taulukko 1 Valtioneuvoston asetuksen 214/2007 mukaiset kynnys- ja ohjearvot öljyhiilivedyille (VNa 214/2007; liite)

Yhdiste	Kynnysarvo (mg/kg)	Alempi ohjearvo (mg/kg)	Ylempi ohjearvo (mg/kg)
Bensiinijakeet (C <sub>5</sub> -C <sub>10</sub> )	-	100	500
Keskitisleet (>C <sub>10</sub> -C <sub>21</sub> )	-	300	1000
Raskaat öljyjakeet (>C <sub>21</sub> -C <sub>40</sub> )	-	600	2000
Öljyjakeet, summa (>C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> )	300	-	-

#### 4.3 Öljyhiilivetyjen käyttäytyminen maaperässä

Poltto- ja voiteluaineina käytetyt mineraaliöljyt ovat vettä kevyempiä orgaanisia kemikaaleja, jotka voivat esiintyä maaperässä omana veteen liukenemattomana faasinaan (LNAPL-faasi (light non-aqueous phase liquids)). Faasin esiintymiseen ja kulkeutumiseen maaperässä vaikuttavat öljypäästön luonne ja öljyn ominaisuudet kuten viskositeetti ja tiheys sekä maaperäolosuhteet, joita ovat mm. raekoko, huokoisuus, vesipitoisuus ja kerrosrakenne. Faasin lisäksi öljyn sisältämät öljyhiilivedyt voivat esiintyä maaperässä maa-ainekseen sitoutuneena (adsorptio), huokos- ja pohjaveteen liuenneena tai haihtuneena huokoskaasussa. Hiilivetyjen molekyylirakenne (fysikaalis-kemialliset ominaisuudet) säätelee aineiden jakautumista eri faasien välillä ja yhdessä maaperän ominaisuuksien kanssa vaikuttaa niiden käyttäytymiseen. (Reinikainen 2007, 150 - 151.)

Maaperään päästessään öljy kulkeutuu painovoiman vaikutuksesta maaperässä alaspäin samalla imeytyen maaperän huokosiin. Kapillaarivoimien vaikutuksesta osa öljystä pidättäytyy maan huokosiin ns. jäännösfaasiksi. Hienorakeisissa maalajeissa kuten siltissä ja savessa kapillaarivoimien vaikutus ja maan pidätyskapasiteetti on suurempi kuin karkearakeisissa maalajeissa. Lisäksi maan pidätyskyky kasvaa suhteessa öljyn viskositeettiin. Osa öljystä voi kulkeutua koko vajovesikerroksen läpi pohjaveden pinnan yläpuolisiin kapillaarikerroksiin. Kapillaarikerroksessa vapaa öljyfaasi kulkeutuu pohjaveden virtauksen mukaisesti. Kerroksellisessa maaperässä öljy voi kerääntyä myös tiiviiden maakerroksien päälle tai kulkeutua niiden ohjaamana. (Reinikainen 2007, 151.) Öljyn kulkeutumista ja sille altistumista on kuvattu kuviossa 3.



Kuvio 3 Haitta-aineen kulkeutuminen ympäristössä ja sille altistumisen eri keinot (SOILIRISK 3.0.)

Maaperässä öljyn koostumus muuttuu pääasiassa haihtumisen, liukenemisen ja biologisen hajoamisen seurauksena. Öljyhiilivetyjen haihtuvuus ja vesiliukoisuus vähenevät ja hajoaminen hidastuu molekyylikoon kasvaessa. Tästä johtuen raskaimpien hiilivetyjen suhteellinen osuus maaperän öljypitoisuudesta kasvaa ajan kuluessa. Öljyhiilivetyjen biologinen hajoaminen on nopeinta suoraketjuisilla alkaaneilla. Raskaiden PAH-yhdisteiden sekä haaroittuneiden ja syklisten alifaattien hajoaminen on erittäin hidasta. (Reinikainen 2007, 151.)

Keskitislejakeiden ( $C_{10}$ - $C_{21}$ ) aromaattiset hiilivedyt liukenevat suhteellisen hyvin veteen ja sekä aromaattiset, että alifaattiset hiilivedyt haihtuvat herkästi ilmaan. Öljyhiilivetyjen eri fraktioiden fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia on kuvattu taulukossa 2. Näistä arvoista nähdään, että erot hiilivetyjen ympäristökäyttäytymisessä kevyiden ja raskaiden jakeiden välillä ovat suuria. (Reinikainen 2007, 151 - 152.)

Taulukko 2 Öljyhiilivetyfraktioiden ominaisuuksia (PIMA-ohje liite 17/2 ja 17/3).

Öljyhiilivedyn fraktio	Molekyylipaino (g/mol)	Liukoisuus veteen (mg/l, +10 °C)	Höyrynpaine (Pa, +10 °C)	Maaperän kyllästymispitoisuus (mg/kg)
<b>Alifaattiset</b>				
C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub>	81	28	50 007	378
C <sub>6</sub> -C <sub>8</sub>	100	4,2	8 610	192
C <sub>8</sub> -C <sub>10</sub>	130	0,325	821	105
C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub>	160	0,0261	79	66
C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub>	200	0,00059	3,55	30
C <sub>16</sub> -C <sub>35</sub>	270	0,000000999	0,172	6,3
<b>Aromaattiset</b>				
C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub>	78	220	11 100	2260
C <sub>7</sub> -C <sub>8</sub>	92	130	3 240	1660
C <sub>8</sub> -C <sub>10</sub>	120	65	821	1040
C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub>	130	25	79	631
C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub>	150	5,8	3,55	291
C <sub>16</sub> -C <sub>21</sub>	19	0,65	0,172	103
C <sub>21</sub> -C <sub>35</sub>	240	0,0066	0,000017	8,3

#### 4.4 Öljyhiilivetyjen aiheuttamat riskit

##### Ekologiset riskit

Eliöille helpommin saatavilla olevat vesiliukoiset ja kevyet öljyhiilivedyt ovat maaperässä haitallisempia kuin huonosti liukenevat raskaat öljyhiilivedyt. Toisaalta maaperässä esiintyvät mikrobit pystyvät hajottamaan paremmin juuri kevyitä öljyhiilivetyjä, jonka vuoksi raskaiden öljyhiilivetyjen osuus maaperässä kasvaa ja öljyn haitallisuus maaperässä pienenee ajan saatossa. Eri lajien erot herkkyydessä öljyhiilivedyille voivat olla suuria ja esimerkiksi kohteen maaperäolosuhteet vaikuttavat merkittävästi siihen, kuinka suurta eliöiden altistuminen on ja millaisia vaikutuksia altistumisesta aiheutuu. (Reinikainen 2007, 154 - 155.)

##### Terveysriskit

Öljyhiilivetyjen terveysriskien arvioinnissa tarkastellaan yleensä erikseen syöpäriskiä sekä muihin terveysvaikutuksiin kohdistuvia riskejä. Syöpäriski arvioidaan maaperässä esiintyvien ns. syöpävaa-rallisten hiilivetyjen (bentseeni ja PAH-yhdisteet) perusteella. Öljyhiilivetyjen aiheuttamien terveysriskien kannalta merkittävin altistusreitti on sisäilman hengityksen kautta tapahtuva altistuminen. Työpaikan ilman haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 5 mg/m<sup>3</sup>/8h. Pohjaveden käyttö juomavetenä on toinen merkittävä altistusreitti. (Reinikainen 2007, 155 - 157.; Työterveyslaitos 2013.)

## Pohjaveden pilaantumisriskit

Öljihiilivetyjen aiheuttamiin pohjaveden pilaantumisriskeihin vaikuttaa oleellisesti se, mitä öljytuotteita maaperässä esiintyy. Raskaiden öljyjakeiden, mm. voiteluöljyn sisältämät hiilivedyt pidätyvät voimakkaasti maaperään eivätkä käytännössä liukene veteen. Tämän takia niistä ei yleensä aiheudu suurta pohjaveden pilaantumista. Suurin riski pohjaveden pilaantumiseen on, jos maaperään on kohteessa päässyt kevyitä öljyjakeita kuten bensiiniä. Tällöin riskinarvioinnissa arvioidaan BTEX-yhdisteiden (bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleeni) ja MTBE:n (metyylitertiäributyylieetteri) esiintyminen maaperässä ja pohjavedessä sekä näiden kulkeutumisesta pohjavedelle aiheutuvat riskit. (Reinikainen 2007, 158.)

Erillisten öljyfaasien esiintyminen maaperässä ja/tai pohjavedessä sekä niistä aiheutuvat riskit pohjaveden laadulle ja käytölle on aina arvioitava erikseen. Tämä on erityisen tärkeää kun pilaantuneella alueella tai sen läheisyydessä sijaitsee vedenottamo tai vedenottoon käytettävä kaivo, koska tällöin öljy voi kulkeutua faasina suoraan juomaveteen. Pohjaveden pilaantumisen estämiseksi maaperässä sijaitseva öljy tulisi aina mahdollisuuksien mukaan poistaa. (Reinikainen 2007, 158 - 159.)



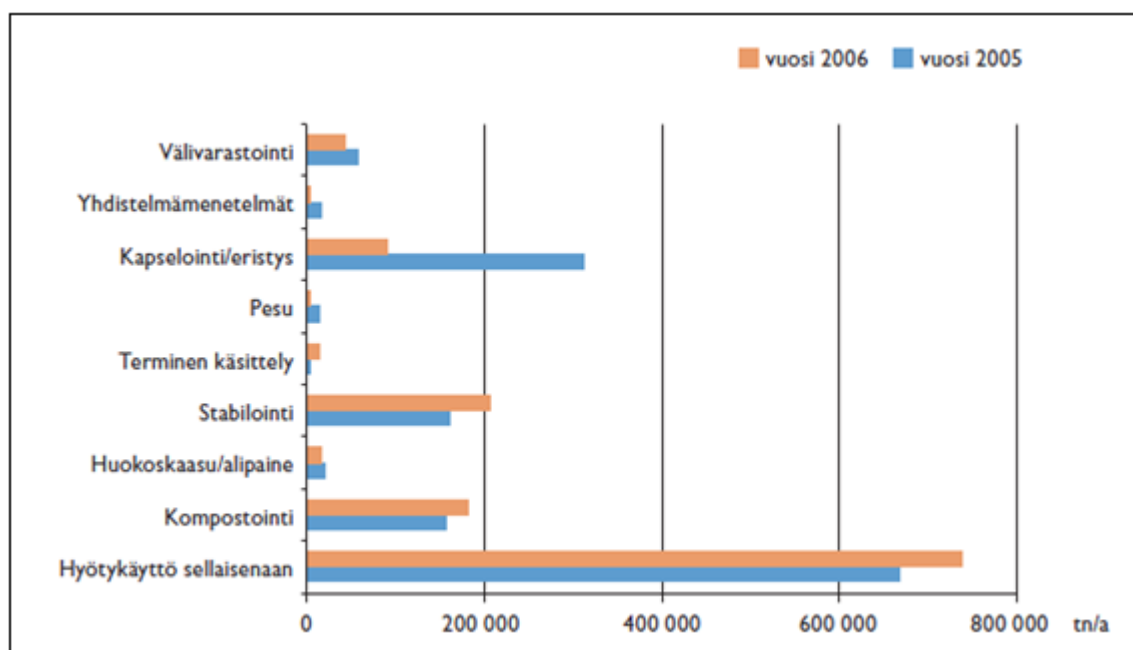
## 5 ÖLJYLLÄ PILAANTUNEEN MAA-ALUEEN KUNNOSTUSMENETELMÄT

### 5.1 Pilaantuneen maa-alueen kunnostusmenetelmät

Pilaantuneen maa-alueen kunnostusmenetelmä on aina valittava tapauskohtaisesti. Menetelmän valintaan vaikuttavat pääasiassa haitta-aineen määrät maaperässä ja/tai pohjavedessä sekä kohteen maalaji. Menetelmät ovat fysikaalisia, kemiallisia tai biologisia. Valintaan vaikuttavat teknisen soveltuvuuden lisäksi kunnostuksen aikaiset ympäristövaikutukset, kunnostukseen käytettävissä oleva aika ja kunnostamiselle asetetut tavoitteet sekä kustannukset. Lisäksi kunnostusmenetelmä täytyy perustua ympäristölainsäädännön mukaiseen parhaaseen käyttökelpoiseen tekniikkaan, siten ettei puhdistuksesta aiheudu muuta ympäristön pilaantumista. (Valtion ympäristöhallinto.)

Kunnostusmenetelmät voivat menetelmästä riippuen hävittää haitalliset aineet tai estää niiden leviämistä ja niille altistumista. Usein joudutaan käyttämään toisiaan täydentäviä käsittelymenetelmiä, sillä maaperä ja pohjavesi voivat olla pilaantuneita useilla erilaisilla haitallisilla aineilla, aineiden pitoisuudet tai niiden pitoisuuserot ovat suuria tai maata on vaikea käsitellä sen savi- tai orgaanisen aineen pitoisuuden takia. (Valtion ympäristöhallinto.)

Suosituin kunnostusmenetelmä on massanvaihto. Kaivettuja pilaantuneita maa-aineksia viedään käsiteltäväksi vuosittain lähes 1,5 miljoonaa tonnia, josta noin 70 % saadaan hyötykäyttöön. Pilaantuneet maa-ainekset kaivetaan, käsitellään ja sijoitetaan joko kunnostettavalle alueelle (on site) tai ne kuljetetaan niitä vastaanottavaan, erilliseen käsittelykeskukseen tai kaatopaikalle (off site). Pilaantuneet maat vaihdetaan kohteessa puhtaisiin maihin. Vuosina 2005 - 2008 ja 2011 muilla tekniikoilla kunnostettiin keskimäärin vain 10 - 15 kohdetta vuosittain. Maaperän ja pohjaveden kunnostaminen voidaan tehdä myös in situ -menetelmällä, jolloin maa-aineksia ei kaiveta pois vaan maaperä puhdistetaan muilla menetelmillä kuten paikallisella eristyksellä, huokosilmapuhdistuksella tai biologisilla ja kemiallisilla menetelmillä. (Valtion ympäristöhallinto; Pyy, Haavisto, Niskala ja Silvola 2013, 36.) Pilaantuneiden maiden kunnostusmenetelmät vuosina 2005 - 2006 on esitetty kuviossa 4.



Kuvio 4 Pilaantuneiden maiden kunnostusmenetelmät vuosina 2005 - 2006 (tonnia/vuosi). Hyötykäyttö sellaisenaan -kategoria sisältää massat, jotka hyödynnetään kaatopaikoilla esimerkiksi peiteaineina. (Jaakkonen, 2008.)

On site -menetelmiin voidaan lukea useita eri menetelmiä, mutta tässä työssä on käsitelty kyseisessä kohdassa vain peltohajotus-menetelmä. Off site -menetelmiä ovat esimerkiksi massanvaihto, kompostointi, bioreaktorit, maan pesu, termiset menetelmät, kiinteytys, kaatopaikkakäsittely ja pohjaveden pumppaus muualle käsiteltäväksi. In situ -menetelmiä ovat mm. luontainen biohajoaminen, biologinen ilmahuuhtelu, tehostettu biologinen puhdistus, huokosilmakäsittely, fytoimediaatio eli maaperän puhdistus kasvien avulla, elektroniset käsittelyt, eristykset, pohjaveden ilmastus ja reaktiiviset seinämät.

Tässä työssä on kuvattu tarkemmin öljyhiilivedyille soveltuvat menetelmät:

- On site: peltohajotus.
- Off site: massanvaihto, kompostointi, termiset menetelmät, kiinteytys/stabilointi ja kaatopaikkakäsittely.
- In situ: biologiset menetelmät, huokosilmakäsittely ja eristys.

## 5.2 On site -menetelmät

On site -menetelmällä tarkoitetaan pilaantuneen maa-ainesten kunnostamista siten, että pilaantunut maa-aines poistetaan kaivamalla, mutta sen puhdistuskäsittely toteutetaan paikan päällä. Pilaantuneet maa-massat voidaan muun muassa polttaa siirrettävissä konteissa, käsitellä bioreaktoreissa tai puhdistaa erilaisilla pesujärjestelmillä.

Peltohajotus on yksi on site -menetelmistä. Se on maanpinnan muokkaukseen perustuva menetelmä, jolla voidaan käsitellä lähinnä suhteellisen helposti hajoavia aineita kuten öljyisiä lietteitä ja poltonesteitä. Menetelmä ei sovellu kuitenkaan helposti haihtuville yhdisteille ilmapäästöjen vuoksi. Pel-

toaluetta tai vastaavaa käytetään haitallisten aineiden käsittelyyn pyrkimättäkään alustan täydelliseen puhdistukseen. Jos alustaa käytetään toistuvasti samaan tarkoitukseen, kertyy käsittelykerrokseen öljylietteistä bitumiainesta ja mikrobien tuottamaa ”biologista pikeä”. Se voi ajan kanssa muodostua maaperän käyttöä rajaavaksi tekijäksi. Suomen oloissa on arvioitu, että öljyistä jätettä voidaan levittää 10 - 25 kg/m<sup>2</sup>, kun lisäysten väli on neljä kasvukautta. Peltohajotuksen kustannustaso on alhainen. (Penttinen 2001, 20.)

Pelto käsittelyssä mikrobit ovat peräisin käsiteltävästä aineesta ja käsittelyalustana toimivasta maaperästä. Hajotustoimintaa ohjataan ajoittaisella maanmuokkauksella, pH:n säätelyllä, lannoituksella ja kosteuduksella. Peltokäsittelyaluetta valittaessa on kiinnitettävä huomiota pohjaveden suojeluun. Savimaa tai sopiva eristekerros käsittelykerroksen alla estää vesien pääsemisen pohjaveteen. Lisäksi on estättävä alueelta kertyvien valumavesien pääsy pintavesiin. Haitta-aineita sisältävien maamassojen käsittely on pitkä prosessi ja maaperän puhdistamistaso jää usein alhaiseksi. (Penttinen 2001, 20 - 21.)

### 5.3 Off site -menetelmät

Off site -menetelmällä tarkoitetaan pilaantuneen maa-ainesten kunnostamista siten, että pilaantunut maa-aines poistetaan kaivamalla ja kuljetaan kunnostuskohteen ulkopuolelle käsiteltäväksi. Menetelmät ovat varsin yleisesti käytössä Suomessa.

#### 5.3.1 Massanvaihto

Massanvaihto on Suomessa yleisin pilaantuneiden maiden kunnostusmenetelmä sen tehokkuuden ja taloudellisuuden ansiosta. Menetelmässä pilaantuneet maa-ainekset kaivetaan ja kuljetetaan käsiteltäväksi mm. kaatopaikoille. Kaatopaikalle ne voidaan esimerkiksi kompostoida tai haitta-ainepitoisuuksien alittaessa raja-arvot, sijoittaa kaatopaikkarakenteisiin mm. peitemaiksi. Voimakkaasti pilaantuneet maat sijoitetaan erityiskaatopaikoille tai ne kunnostetaan muilla menetelmillä. Kohteessa kaivetut maa-ainekset korvataan uusilla, puhtailla mailla.

#### 5.3.2 Kompostointi

Kompostoinnissa orgaanisia haitta-aineita, mm. öljyhiilivetyjä hajotetaan mikrobitoiminnan avulla. Pilaantuneet maamassat kaivetaan ja sijoitetaan kompostointiaumoihin, -altaisiin tai bioreaktoreihin. Kompostien ilmapuutusta parannetaan sekoittamalla kompostoitavaan massaansa sitä kuohkeuttavia aineita kuten puun kuorta tai olkia. Riittävä hapensaanti turvataan kääntämällä aumat säännöllisin väliajoin tai asentamalla kompostiin ilmastointi- tai huokosilmaputkia. Tarpeen mukaan komposti varustetaan kastelulaitteilla ja lämpöä eristävillä ja tasaisemman kosteuden takaavilla kerroksilla. Lisäksi kompostimassaan syötetään ravinteita ja pH:ta säädetään prosessin nopeuttamiseksi. Aumojen huolellinen hoito ja haitta-aineiden hajoamisen seuranta ovatkin olennainen osa kompostointiprosessia. (Penttinen 2001, 22.)

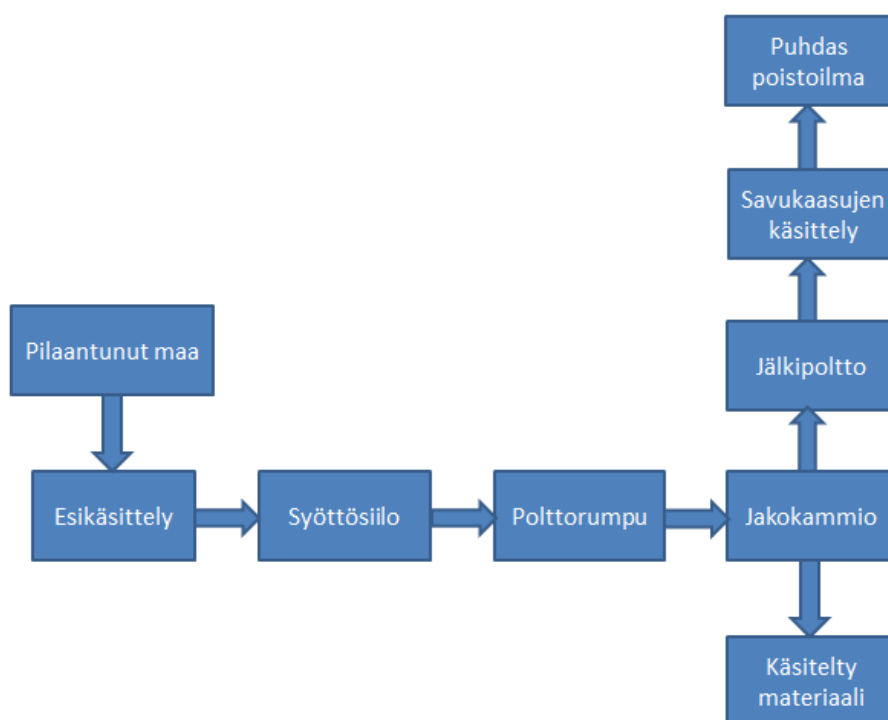
Kompostointi tulee toteuttaa vettä läpäisemättömällä kentällä tai sellaisella alueella, joka suojaa alueen pohjavettä. Kompostista tulevat suotovedet otetaan talteen ja käsitellään. Myös ilmapäästöjä tulee tarkkailla eikä menetelmä sovellu tämän vuoksi haihtuvien yhdisteiden käsittelyyn. Haihtumista voidaan vähentää peittämällä komposti esimerkiksi muovilla. Kompostointi tulisi mahdollisuuksien mukaan toteuttaa hallissa tai muussa katetussa tilassa, jossa on ilmapäästöjen keräily ja käsittelyjärjestelmä. (Penttinen 2001, 22.)

Kompostointi soveltuu hyvin suhteellisen helposti hajoavien öljyhiilivetyjen käsittelyyn, mutta PAH-yhdisteitä sisältävät maat kompostoituvat hitaammin ja se on melko vaikeaa. Suomen sääoloissa käsittely kestää vähintään kuukausia tai useita vuosia. Öljyisten maiden kompostointia harjoittaa suurin osa alueellisista kaatopaikoista. Käsittelykustannukset riippuvat haitta-aineista ja pitoisuuksista, mutta öljyhiilivedyillä ne ovat yleensä noin 50 €/tonni. (Penttinen 2001, 22 - 23.)

### 5.3.3 Termiset käsittelyt

#### Poltto

Menetelmässä korkeaa lämpötilaa käytetään haihduttamaan ja tuhoamaan haitta-aineita pilaantuneista maista. Huonosti haihtuvien orgaanisten aineiden poistuminen vaatii lähes 700 °C:n lämpötilaa. Näin korkeassa lämpötilassa maan sisältämä humus palaa kokonaan tai hiiltyy. Korkeita lämpötiloja käytetään mm. orgaanisilla haitta-aineilla kuten dioksiineilla ja PCB:llä pilaantuneiden maiden käsittelyyn. Tehokkaissa polttolaitteistoissa puhdistusteho ylittää 99,99 %. Palamisen poistokaasut ja palamisjätteet vaativat jatkokäsittelyä. Polttoprosessista on esitetty esimerkki kuviossa 5. Maailmalla on käytössä kiertopeti-, leijupeti-, infrapunapoltto- ja kiertouunilaitteistoja. (Penttinen 2001, 32.)



Kuvio 5 Tyypillinen polttoprosessi. Muokattu lähteestä (Penttinen 2001, 32.)

Suomessa esimerkiksi Ekokem Oy:llä on käytössään kaksi erilaista polttomenetelmää: massapoltto ja tehopolttto. Massapoltossa haitta-aineet höyrytetään 500 - 800 °C:n lämpötilassa, josta ne johdetaan jälkipolttoon (~1 000 °C). Massapoltolla käsitellään orgaanisilla haitta-aineilla kuten voitelu- ja polttoöljyllä tai kloorifenoleilla pilaantuneita maita. Tehopoltttoa (yli 1 300 °C) käytetään vaikeasti pilaantuneille maille. Tällaisia ovat dioksiineilla, furaaneilla, PCB:llä, torjunta-aineilla, PAH-yhdisteillä ja öljyillä pilaantuneet maat. Menetelmä soveltuu myös maille, jotka ovat pilaantuneet sekä orgaanisilla että epäorgaanisilla aineilla. Ekokem Oy:llä massapolton käsittelykustannukset ovat noin 65 €/tonni ja tehopolton käsittelykustannukset noin 300 €/tonni. (Penttinen 2001, 32 - 33.)

### Desorptio

Terminen desorptio on fysikaallinen menetelmä, jossa haitta-aineet pyritään erottamaan käsiteltävästä materiaalista lämmön avulla. Tavoitteena ei ole orgaanisten aineiden tuhoaminen. Käsittelylämpötila ja -aika valitaan siten, että orgaaniset aineet haihtuvat, mutta eivät hapetu. Kyseistä menetelmää pidetäänkin nopeana esikäsittelymenetelmänä, jonka jälkeen haitta-aineet johdetaan jatkokäsittelyyn. Käsittelykustannukset ovat noin 50 - 100 €/tonni. (Penttinen 2001, 34 - 35.)

Termistä desorptiota voidaan suorittaa kolmessa erilaisessa laitteistossa:

- Suora poltto: pilaantunut maamassa on suorassa kontaktissa avoliekkien kanssa, jolloin haitta-aineita irtoaa maaperästä samalla kun osa haitta-aineista hapettuu.
- Epäsuora poltto:
  - Suoralämmitteinen rumpukuivain lämmitteää ilmavirtaa. Se johdetaan käsiteltävään maa-ainekseen, jossa se irrottaa veden ja orgaaniset haitta-aineet.
  - Höyrynykehitin tulistaa veden höyryksi. Höyry johdetaan käsiteltävään materiaaliin, jossa se irroittaa veden ja orgaaniset haitta-aineet.
- Epäsuoralämmitteinen: ulkopuolelta lämmitettävä rumpukuivain haihduttaa vettä ja orgaanisia yhdisteitä käsiteltävästä materiaalista inerttiin kaasuun. Tämän jälkeen kaasu puhdistetaan. (Penttinen 2001, 32.)

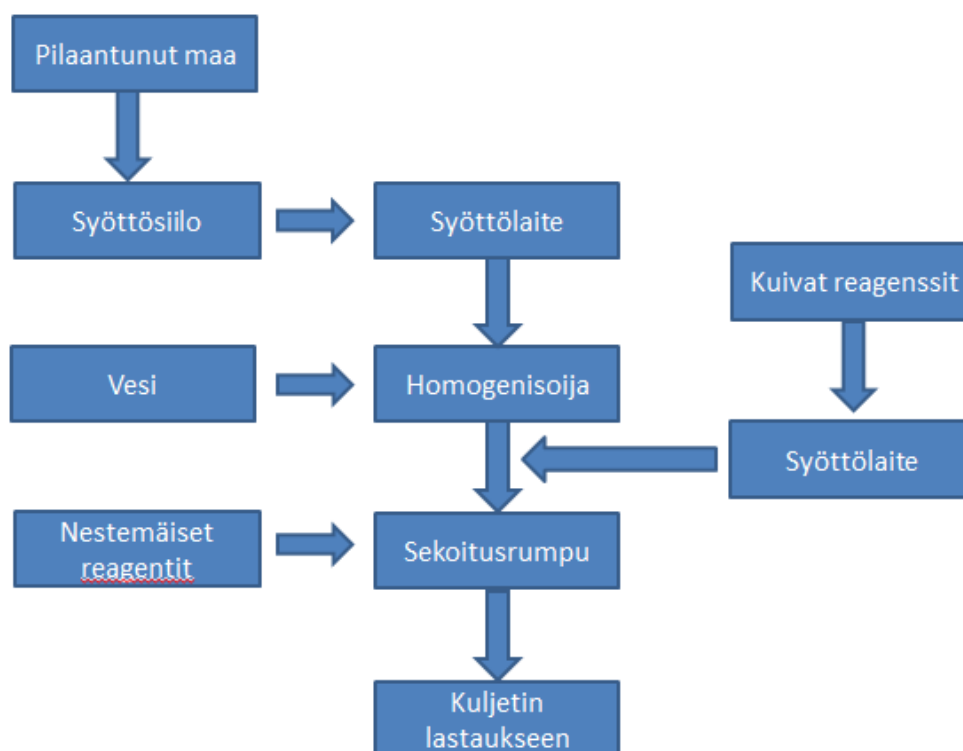
Kaikissa menetelmissä poistokaasut tulee käsitellä. Hiukkaspäästöt puhdistetaan hiukkassuodattimilla tai pesureilla. Haitta-aineet poistetaan joko kondensoimalla ja aktiivihilikkäsittelemällä kaasut, tuhoamalla ne jälkipolttolaitteistossa tai hapettamalla ne katalyyttisesti. (Penttinen 2001, 32.)

Terminen desorptio voidaan jakaa korkealämpödesorptioon (320 - 560 °C) ja matalalämpödesorptioon (90 - 320 °C). Korkealämpödesorptiota käytetään puolihihtuvien yhdisteiden ja joissakin tapauksissa myös PCB-, PAH- ja VOC-yhdisteiden sekä polttoaineiden ja torjunta-aineiden käsittelyyn. Matalalämpödesorptio soveltuu öljyhiilivetyjen poistamiseen erityyppisistä maamassoista. (Penttinen 2001, 32.)

### 5.3.4 Kiinteytys/stabilointi

Kiinteytys/stabilointi -menetelmissä haitta-aineiden kulkeutumista ja leviämistä ja siten niiden haitallisuutta pyritään vähentämään sitomalla ne maa-ainekseen. Menetelmät perustuvat sekä fysikaallisiin että kemiallisiin ilmiöihin. Kiinteytyksellä tarkoitetaan prosessia (kuvio 6), jossa sideaine kapseloi haitta-aineet estäen näin niiden kulkeutumisen. Stabiloinnilla tarkoitetaan prosesseja, joissa haitta-aineiden aiheuttamaa riskiä pienennetään muuntamalla ne vähemmän liukoiseen, kulkeutuvaan tai toksiseen muotoon. Käsiteltävän materiaalin fysikaalista olomuotoa ei välttämättä muuteta. (Penttinen 2001, 36.)

Kiinteytyksessä/stabiloinnissa pilaantuneeseen maaperään syötetään sideainetta kuten sementtiä, bitumia, kalkkia, silikaatteja, bentoniittia tai orgaanisia polymeerejä. Lisäksi sideaineena voidaan käyttää teollisuuden jätteitä ja sivutuotteita kuten lentotuhkaa ja masuunikuonaa. Varsinkin bitumia käytetään keskiraskaiden ja raskaiden öljyhiilivetyjen käsittelyyn. Ennen sideaineen syöttämistä on jokaiselle maamassalle etsittävä sopiva sideaineiden sekoitussuhde, jotta kiinteytys/stabilointi onnistuu. Lisäksi massalle on tehtävä liukoisuustesti, jotta varmistutaan siitä, että haitta-aineita ei liukene yli sallitun määrän. Kiinteytys/stabilointi voidaan suorittaa on site-, off site- tai in situ -menetelmänä. Menetelmä on nopea ja sitä voidaan käyttää pilaantuneen maamassan ainoana käsittelymenetelmänä tai muiden menetelmien yhteydessä. (Penttinen 2001, 36.)



Kuvio 6 Tyypillinen stabilointi/kiinteytysprosessi. Muokattu lähteestä (Penttinen 2001, 36.)

Kiinteytys/stabilointi -menetelmä sopii sideaineesta riippuen orgaanisille haitta-aineille kuten öljyhiilivedyille. Epäorgaanisista haitta-aineista sitä käytetään mm. raskasmetalleille, asbestille ja syanideille. Menetelmä soveltuu kaikille maalajeille ja sen käsittelykustannukset ovat noin 50 €/tonni (Penttinen 2001, 37.)

### 5.3.5 Kaatopaikkakäsittely

Pilaantunut maa-aines kaivetaan ja kuljetetaan kaatopaikalle välivarastointia varten tai se sijoitetaan esimerkiksi kaatopaikan rakenteisiin. Menetelmää ei voi pitää varsinaisena maaperän kunnostusmenetelmänä. Menetelmää kuitenkin käytetään yleisesti Suomessa varsinkin lievästi pilaantuneille maamassoille massanvaihdon yhteydessä. Menetelmä on yleinen sen kustannustehokkuuden ansiosta. Käsittelykustannukset vaihtelevat kaatopaikoittain, mutta ne ovat yleensä alle 40 €/tonni. Kaatopaikkakäsittely soveltuu sekä orgaanisille että epäorgaanisille haitta-aineille. (Penttinen 2001, 42 - 43.)

Maata kaivettaessa tulee ottaa huomioon ympäristö- ja työsuojelliset tekijät. Haitta-aineiden leviäminen ympäristöön mm. vesien mukana tai pölyämisen ja haihtumisen mukana tulee estää. Mikäli kohteessa on runsaasti haihtuvia yhdisteitä, on niiden pääsy ilmakehään estettävä esimerkiksi suojapeitteiden avulla. Suojavarusteita kuten hengitys-, kuulo- ja silmäsuojaimia sekä suojavaatetusta tulee käyttää tarvittaessa. (Penttinen 2001, 42.)

Kaivettu pilaantunut maa-aines luokitellaan jätteeksi ja sen sijoittamista säädellään jätelain ja valtioneuvoston kaatopaikkapäätöksen perusteella. Sääöksillä pyritään estämään haitallisten aineiden leviäminen ympäristöön ja sitä kautta ympäristö- ja terveyshaittojen aiheutuminen. Pilaantuneita maamassoja joudutaan välillä välivarastoimaan ennen niiden lopullista käsittelyä. Yli 1 vuoden pituinen välivarastointi katsotaan kaatopaikkasijoittamiseksi ja sijoituskohteen tulee täyttää kaatopaikoille asetetut vaatimukset. Pilaantuneen maan välivarastointiin muulla kuin oman kiinteistön alueella vaaditaan ympäristölupa. (Penttinen 2001, 42.)

## 5.4 In situ -menetelmät

In situ -menetelmää on järkevää käyttää maaperän kunnostamiseen siellä, missä kaivaminen on teknisesti hankalaa tai kallista toteuttaa. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi rakennusten tai muiden rakenteiden ympäristössä tai alla, kovan pintamateriaalin alla, syvässä maaperässä ja laajoissa pilaantumistapauksissa. Menetelmillä on mahdollista puhdistaa maaperän lisäksi myös pohjavesi. Kunnostuksen aikana alueella tapahtuvat toiminnot voivat jatkua tavalliseen tapaan. (Penttinen 2001, 14.)

### 5.4.1 Luontainen biohajoaminen

Menetelmässä maaperän annetaan puhdistua hyväksyttävälle tasolle maaperässä luontaisesti tapahtuvien biologisten, fysikaalisten ja kemiallisten reaktioiden seurauksena. Menetelmää käytetään biohajoavilla orgaanisilla yhdisteillä kuten öljyhiilivedyillä ja klooratuilla liuottimilla pilaantuneiden maiden ja pohjavesien puhdistamiseen. Menetelmä on pitkäkestoinen (vuosia) ja Suomen kylmän ilmastonsa vuoksi katsotaan hidastavan luontaista biohajoamista eikä menetelmä aina sovellu niiden vuoksi käytettäväksi. (Penttinen 2001, 10 - 11.)

Luontainen biohajoaminen vaatii seuranta- ja prosessin hallintaa. Seurannalla selvitetään, että vähenevätkö haitta-aineiden pitoisuudet luontaisten prosessien vaikutuksesta riittävän tehokkaasti. Haitta-ainepitoisuuksia seurataan maaperä- ja pohjavesinäytteillä. Haitta-aineet eivät saa levitä, kulkeutua tai altistaa ympäristöä tai ihmistä. Helposti liikkuvat haitta-aineet sekoittuvat nopeasti huokoskaasuun ja pinta-, orsi- ja pohjavesiin ja ne ovat alttiita maassa tapahtuvalle luontaiselle biohajoamiselle. Suurimolekyyliset orgaaniset yhdisteet ovat vaikeasti hajoavia ja sitoutuvat maapartikkeleihin. Tämän takia niiden pitoisuudet eivät usein pienene luontaisilla prosesseilla. (Penttinen 2001, 10.)

Luontaista biohajoamista voidaan vain harvoin käyttää pilaantuneiden pintamaiden kunnostamisessa, koska maan pintakerroksissa haitta-aineiden kulkeutumiseen vaikuttavat useat eri tekijät kuten tuulen ja veden aikaansaama eroosio. Luontaisen puhdistumisen soveltaminen vaatii lisäksi muun muassa seuraavien vaatimusten toteutumista:

- altistuneet kohteet tulee suojata puhdistuksen aikana,
- kohteen geologisten ja geokemiallisten olosuhteiden tulee tukea hajoamista,
- kohteen haitta-aineiden määrä tulee vähentyä todistettavasti kohtuullisessa ajassa sekä
- pysyvien yhdisteiden leviäminen ja kulkeutuminen tulee estää kunnostuksen aikana ja sen jälkeen. (Penttinen 2001, 10.)

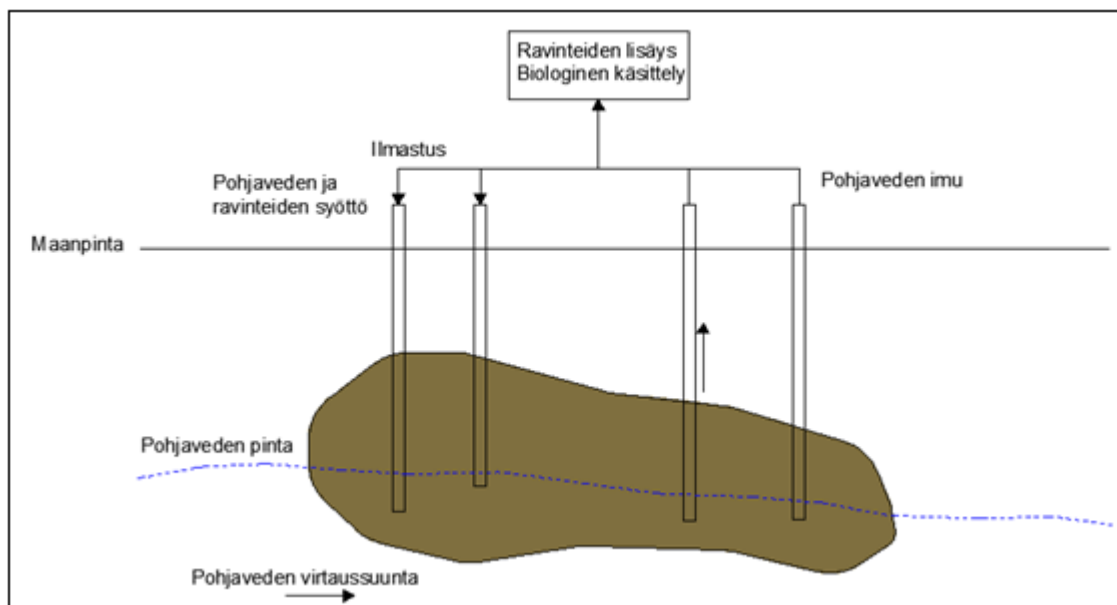
#### 5.4.2 Biologinen ilmahuuhtelu

Luontaista biohajoamista voidaan tehostaa biologisella ilmahuuhtelu -menetelmällä. Siinä pilaantuneen maaperään, pohjaveden pinnan yläpuolisiin maakerroksiin syötetään ilmaa tai happea. Happipitoisuuden kasvaessa maaperässä tapahtuva biologinen hajoaminen tehostuu. Happipitoisuuden parantamiseksi maaperästä voidaan imeä alipaineimulla ilmaa pois. Maaperään johdettu ilma myös kuljettaa haihtuvia yhdisteitä biologisesti aktiiviseen kerrokseen. Menetelmä soveltuu haitta-aineille, jotka hajoavat hapellisissa olosuhteissa kuten polttoaineille, PAH-yhdisteille ja klooratuille liuottimille. Menetelmä ei sovellu savisiin maihin, joissa haitta-aineet eivät pääse kulkeutumaan. Menetelmällä voidaan saada vuosia lyhyempi käsittelyn kesto kuin pelkästään luontaisella biohajoamisella. Menetelmän kustannukset jäävät alhaisiksi. (Penttinen 2001, 12 - 13.)

#### 5.4.3 Tehostettu biologinen puhdistus

Kuten luontaisessa biohajoamisessa ja biologisessa ilmahuuhtelussa, myös tehostetussa biologisessa puhdistuksessa hyödynnetään maaperän ja pohjaveden luontaista mikrobikantaa. Menetelmän tavoitteena on optimoida haitta-aineiden luonnollista biologista hajoamista. Täten menetelmä ei sovel- lu yhdisteille tai aineille, jotka eivät biohajoa. Menetelmässä maaperään syötetään happea (öljyhiilivedyt) tai elektronidonoreita (emäs tai pelkistin, käytetään kun kyseessä klooratut hiilivedyt). Lisäksi maaperään syötetään esimerkiksi injektointikaivojen kautta mikrobeille välttämättömiä ravinteita kuten fosforia ja typpeä. Kunnostus toteutetaan maahan asennettujen kaivojen ja putkilinjojen avulla. Maan alla ne ovat suojassa jäätymiseltä ja mekaanisilta vaurioilta. Jokainen kunnostus tehdään olosuhteisiin sopivaksi. (Penttinen 2001, 14 - 15.) Puhdistuksen periaate on esitetty kuvassa 1.





Kuva 1 Tehostetun biologisen puhdistuksen periaate. Muokattu lähteestä (Penttinen 2001, 14.)

Haitta-aineryhmillä on omat, niille ominaiset hajoamisolosuhteet. Suurin osa öljytuotteista ja PAH-yhdisteistä hajoavat aerobisissa eli hapellisissa olosuhteissa, kun taas monet klooratut yhdisteet (mm. PCE ja TCE) pelkistyvät hapettomissa eli anaerobisissa olosuhteissa. Tehostettu biologinen puhdistus soveltuu hyvin mm. dieselöljyn, bensiinin, öljyn, kreosoottien, PAH-yhdisteiden ja kloorattujen hiilivetyjen pilaaman maan kunnostamiseen. Menetelmä soveltuu parhaiten alhaisten haitta-ainepitoisuuksien käsittelyyn. Käyttökustannukset ovat noin 2000 euroa kuukaudessa. (Penttinen 2001, 14 - 15.)

#### 5.4.4 Huokosilmäkäsittely

Huokosilmäkäsittely on maan kyllästymättömän vyöhykkeen käsittelymenetelmä, jossa alipaineen avulla maasta poistetaan haihtuvia ja puolihaihtuvia yhdisteitä. Maasta poistettava kaasu johdetaan jatkokäsiteltäväksi esimerkiksi aktiivihillisuodatuksen tai katalyyttiseen polttoon. Kaasunimuputkisto asennetaan maaperään joko pysty- tai vaakatasoon. Maan pinnalle voidaan asentaa mm. tiivis geomembraanikerros estämään haitta-aineiden haihtumista. Tämän avulla imukaivojen vaikutusalue laajenee. (Penttinen 2001, 16.)

Huokosilmäkäsittely soveltuu suhteellisen helposti haihtuville ja alhaisen vesiliukoisuuden omaaville aineille. Parhaiten menetelmä toimii hienorakeisissa maissa kuten hiekassa ja sorassa. Puolihaihtuvien yhdisteiden huokosilmäkäsittelyä voidaan tehostaa injektoimalla pilaantuneen alueen alapuolisiin kerroksiin kuumaa ilmaa tai höyryä. Huokosilmäkäsittely voidaan toteuttaa myös on-site -menetelmällä. Tällöin pilaantuneet maat kaivetaan, läjitetään ja kaasunimuputket asennetaan läjitettyyn kasaan. Huokosilmäkäsittely pumppauksineen ja kaasujen käsittelyllä maksaa 3 000 - 4 000 euroa kuukaudessa. (Penttinen 2001, 16 - 17.)

#### 5.4.5 Eristys

Eristyksellä estetään maaperän sisältämien haitta-aineiden leviäminen ja kulkeutuminen muualle ympäristöön. Menetelmässä haitta-aineiden pääseminen sade-, pinta- ja pohjaveden sekä ilman kanssa kosketuksiin eristetään. Sen seurauksena eläinten ja ihmisten mahdollisuus joutua kosketukseen haitta-aineen tai jätteen kanssa estyy. Eristäminen ei poista haitta-aineita vaan ne muodostavat edelleen ympäristöriskin, mikäli eristysrakenne vaurioituu. (Penttinen 2001, 40.)

Eristäminen soveltuu parhaiten haitta-aineille, joiden liikkuvuus on alhainen. Yleisimmin menetelmää käytetään läjitettäessä maita, jotka ovat pilaantuneet epäorgaanisilla yhdisteillä kuten raskasmetalleilla ja syanideilla. Eristysratkaisuja käytetään lisäksi kaatopaikoilla estämään jätteiden sisältämien haitta-aineiden leviäminen ympäristöön. Eristysmateriaaleina käytetään joko luonnon- tai synteettisiä materiaaleja. Niitä ovat esimerkiksi sementti, bentoniitti, savi, geomembraanit ja metsäteollisuuden kuituliete. Eristämisen käyttökustannukset vaihtelevat tapauskohtaisesti. (Penttinen 2001, 40 - 41.)

Eristäminen jaetaan:

- pintaeristykseen, jonka pääasiallisena tarkoituksena on estää sadevesien imeytyminen pilaantuneeseen maa-ainekseen,
- pystyeristykseen, jonka tehtävänä on eristää pilaantunut kohde maaperässä virtaavasta vedestä ja pohjavedestä sekä estää likaisen suotoveden pääsyn ympäristöön ja
- pohjaeristykseen, joka estää pilaantuneen maa-aineksen joutumisen kosketukseen pohjaveden kanssa. (Penttinen 2001, 40.)

## 6 RISKINARVIOINTIKOHDE JA VALITUT MENETELMÄT

### 6.1 Kohteen kuvaus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Haapamäen yhtenäiskoulun alueen maaperään jääneiden pilaantuneiden maiden ympäristö- ja terveysriskejä tarkasteleva kohdekohtainen riskinarviointi. Keuruun kaupungin Haapamäen yhtenäiskoulu sijaitsee Haapamäen taajamassa, noin 15 kilometriä länteen Keuruun kaupungin keskustaajamasta (kuva 2 ja liite 1). Kohteen omistaa Keuruun kaupunki. Koulu sijaitsee Keski-Suomen maakuntakaavassa taajamatoimintojen alueella. Asemakaavassa koulun alue on merkitty opetustoimintaa palvelevien rakennusten korttelialueeksi. Haapamäen yhtenäiskoulun itäpuolella, noin 50 metrin päässä sijaitsee Haapamäen kirkko ja hautausmaa. Pohjoispuolella sijaitsee asuinrakennuksia noin 30 metrin päässä kohteesta. Koulun länsipuolella sijaitsee Tykkivuori, joka on pääosin metsää. Muutoin koulun lähiympäristö on puistoaluetta. Koulun itäpuolitse kulkee Riihontie, joka johtaa Haapamäen keskustaajamaan.



Kuva 2 Haapamäen yhtenäiskoulun sijainti (Maanmittauslaitos).

Haapamäen yhtenäiskoulu on rakennettu 60-luvulla ja se on ollut öljylämmitteinen vuoteen 2013 asti. Koulun peruskorjauksen yhteydessä vuonna 2013 lämmitysöljysäiliöt poistettiin ja koulu liitettiin kaukolämpöverkkoon. Koulussa toimii ala- ja yläkoulu sekä koulun ruokala ja keittiö.

Haapamäen yhtenäiskoulu sijoittuu hiekkaharjulle Tykkivuoren itäreunalle. Maa on hienoa ja karkeaa hiekkaa noin 4 metrin syvyyteen asti, jossa on ohut savinen silttikerros. Silttikerroksen alla maa jatkuu hienorakeisena ja hiekkaisena. Geologisessa kartassa (Geokarttapalvelu) koulu sijoittuu alueelle,

joka on luokiteltu karkearakeiseksi lajittuneeksi muodostumaksi. Muodostuman päälajite on hiekka (karkea- ja keskikarkea hiekka). Viereinen Tykkivuori on luokiteltu geologisessa kartassa moreeni- ja kalliomäeksi.

Lähin pintavesi on koulun luoteispuolella sijaitseva Petäisjärvi, johon on matkaa noin 340 metriä. Pohjoisessa, noin 680 metrin etäisyydellä sijaitsee pieni Kangaslampi ja kaakossa, noin 1,4 kilometrin etäisyydellä Niemelänjärvi, jossa sijaitsee uimaranta. Pohjaveden pinta on alueella noin 16 - 17 metrin syvyydessä maanpinnasta, noin tasolla +127...+128 metriä merenpinnan yläpuolella (mpy). Orsivettä saattaa liikkua alueella savisen silttikerroksen päällä noin neljän metrin syvyydellä maanpinnasta (noin tasolla +140 m mpy). Aluetta ei ole luokiteltu pohjavesialueeksi eikä alueella ole pohjavesiputkia. Lähimmät pohjavesialueet ovat Haapamäen vedenottoa varten tärkeä pohjavesialue (0924909) noin 830 metrin etäisyydellä pohjoisessa ja Ketunpesänmäen vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue (0924910) noin 370 metrin etäisyydellä etelässä. Pohjavesi virtaa Haapamäen pohjavesialueella pääosin luoteesta kaakkoon ja Ketunpesänmäen pohjavesialueen pohjoisosassa pääasiassa pohjoisesta etelään. Haapamäen pohjavesialueella on vedenottamo. Riskinarviokohteen alapuolisilla kiinteistöillä ei ole kaivoja. Alueen pohjavesikartta on esitetty liitteessä 2.

## 6.2 Kohteen pilaantuneisuus

Koulun öljysäiliöitä ympäröivä maaperä kunnostettiin touko-kesäkuussa 2013 massanvaihdoilla, jossa pilaantuneet maa-ainekset poistettiin ja kaivanto täytettiin puhtailla, tiivistämiskelpoisilla maa-aineksilla. Öljysäiliöt (kuva 3) sijaitsivat koulun sisäpihalla, koulun ulkoseinän vieressä. Tontilla todetut öljypitoisuudet ovat peräisin öljysäiliöiden ylitäytöistä. Kaivantoa levennettiin kunnostuksen aikana niin lähelle koulun seiniä kuin teknisesti oli mahdollista. Kaivannon pohjoispäädyssä kulki viemäri linja, joka rajoitti kaivamista pohjoiseen päin. Kaivannon pohja ja kaivannon länsireuna kaivettiin puhtaisiin maa-aineksiin saakka. Kaivu ulotettiin noin 3 - 4 metriä orsiveden pinnan alapuolelle.



Kuva 3 Maaperästä poistetut lämmitysöljysäiliöt. (Kuva Marjaana Rautpalo, Ramboll Finland Oy 2013)



Kaivannon etelä- ja pohjoispäätyihin sekä itäpuolen seinämään jäi tavoitepitoisuudet ylittäviä öljyhiilivetyypitoisuuksia. Eteläpääty ja itäpuolen seinämä sijoittuivat koulun ulkoseiniä vasten eikä kaivantoa ollut mahdollista laajentaa kyseisiin suuntiin (kuva 4). Pohjoispäädyssä kaivamista rajoitti käytössä ollut viemäri linja, jonka alapuolelle kaivua ei voitu ulottaa. Itäseinämään jäi noin 1 900 - 2 400 mg/kg öljyhiilivetyjen pitoisuuksia ja pohjoispäätyyn noin 2 900 - 8 300 mg/kg öljyhiilivetyjen pitoisuuksia. Eteläpäätyyn jäi 660 mg/kg öljyhiilivetyjen pitoisuus. Suurin osa jäännöspitoisuuksien öljyhiilivedyistä on keskitiskeitä ( $C_{10}$ - $C_{21}$ ). Pohjoispäädyn ja itäseinämien jäännösnäytteistä tehtiin öljyhiilivetyjen fraktiointi syksyllä 2013 riskinarviointia varten. Pilaantuneisuus sijaitsee noin 4 - 7 metrin syvyydessä maanpinnasta. 0 - 4 metrin syvyydessä sijaitsevat maamassat todettiin puhtaiksi. Myös kaivannon pohja noin 7 metrin syvyydessä todettiin puhtaaksi. Eniten pilaantuneeksi jääneen kaivannon pohjoispäädyn ja puhtaan täyttömaan väliin asennettiin suodatinkangas erotus- ja huomiorakenteeksi. Pilaantuneiden maiden sijainnit on esitetty liitteessä 3.

Kaivantoon kertyi orsivettä etenkin kaivun alkuvaiheessa, kaivettaessa orsiveden pinnan tasossa tai juuri sen alapuolella. Orsiveden mukana kaivantoon tuli myös kaivun alkuvaiheessa selvästi öljyistä vettä. Öljyisestä orsivedestä otettiin näyte suoraan pulloon. Vesinäytteessä havaittiin öljyhiilivetyjen pitoisuus 22 mg/l, josta suurin osa oli keskiraskaita jakeita.



Kuva 4 Kaivanto öljysäiliöiden poistamisen jälkeen. Pilaantuneiden maiden kaivua rajoitti kuvan vasemmassa reunassa sijaitsevat seinärakenteet. (Kuva Marjaana Rautpalo, Ramboll Finland Oy 2013)

### 6.3 Kohteeseen valitut riskinarviointimenetelmät

Tässä työssä kohdekohtaisen riskinarvioinnin tavoitteena oli määrittää kohteen maaperän pilaantuneisuus ja sitä kautta arvioida maaperän puhdistustarvetta. Kohdekohtainen riskinarviointi tehtiin pohjavesi- ja sisäilmakulkeutumisen osalta laskennallisena tarkennettuna arviointina ja muilta osin sanallisena tarkennettuna arviointina VNa 214/2007 mukaisesti. Ympäristöhallinnon oppaan 2/2007 mukaan tarkennettu arviointi on tarpeen, kun kohteen maaperässä esiintyy merkittäviä määriä haihtuvia yhdisteitä. Koulurakennuksen alle jatkuneen pilaantuman keskiraskaat öljyhiilivetyjakeet voivat sisältää haihtuvia yhdisteitä, jotka teoriassa voivat kulkeutua koulurakennuksen sisäilmaan.

Riskinarvioinnissa huomioitiin haitta-aineen ominaisuudet, kulkeutumisreitit sekä terveys- ja ekologiset riskit. Pohjavesi- ja sisäilmakulkeutumisen laskennallinen osuus tehtiin öljyhiilivedyille käyttäen Excel-pohjaista SOILIRISK 3.0 -riskinarviointiohjelmaa. Laskennassa käytettiin hiekkamaille sovellettuja lähtöarvoja ja kohteesta saatuja taustatietoja. Ohjelma laski maaperästä ja pohjavedestä mitattujen öljyhiilivetytypitoisuuksien ja öljyhiilivetyjen eri fraktioiden pohjalta haitta-aineen riskit pinta- ja pohjamaahan, sisäilmaan ja pohjaveteen.

Riskinarviointi rajattiin koskemaan ainoastaan koulurakennuksen pohjoispäätyä ja sen ympärillä olevaa piha-aluetta. Arvioinnissa huomioitiin haitta-aineen kulkeutumisen kautta koulun sisäilmaan mahdollisesti aiheutuvat riskit. Riskinarviointi tehtiin olemassa olevien lähtötietojen ja tutkimustulosten perusteella. Riskinarvioinnissa keskityttiin haitta-aineen kulkeutumisreitteihin sekä terveys- ja ekologisiin riskeihin.

Haapamäen yhtenäiskoulun alueella maaperän kunnostuksessa käytettiin tavoitearvoina alempia ohjearvoja, jotka on esitetty alueella todettujen keskitisleiden osalta taulukossa 3. Alueella havaitut öljyhiilivetytypitoisuudet muodostuivat lähes kokonaan öljyhiilivetyjen keskitisleistä eli koulun lämmitykseen käytetystä kevyestä polttoöljystä.

Taulukko 3 VNa 214/2007 mukaiset kynnys- ja ohjearvot keskitisleiden osalta.

Öljyhiilivedyt		Keskitisleet (C <sub>10</sub> -C <sub>21</sub> )
<b>VNa 214/2007 määrittelemät ohjearvot</b>	Kynnysarvo (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> )	300 mg/kg
	Alempi ohjearvo	300 mg/kg
	Ylempi ohjearvo	1 000 mg/kg

## 7 KOHTEN SEURANTATOIMENPITEET RISKIANALYYSIÄ VARTEN

Riskianalyysiä varten kohteeseen tehtiin lisätutkimuksia syksyllä 2013. Lisätietoa haluttiin öljyn liikkumisesta maaperässä ja pohjavedessä. Maaperästä otettiin kuudesta edustavasta pisteestä, metrin välein maanäytteet 1 - 8 metrin syvyyksiltä. Samalla tutkittiin pohjaveden öljypitoisuuksia ja öljyfaasin esiintymistä veden pinnalla. Näytteenotot ja pohjaveden havaintoputkien asennuksen suoritti Destia Oy. Tutkimuksissa selvitettiin öljyn mahdollista liikkumista koulurakennuksen alapuolelle ja muualle kiinteistön alueelle sekä öljyhiilivetyjen pitoisuuksia maaperässä eri tutkimuspisteissä.

### 7.1 Pohjavesiputkien asennus

Pohjavesitarkkailun havaintoputket asennettiin koulun pohjois- ja koillispuolelle, öljyn oletettuun leviämisseurantaan. Kohteeseen asennettiin kolme pohjavesiputkea (PVP3, PVP4 ja PVP6). Kairauskalustona toimi GM200 GT. Kairaus tehtiin poraamalla, jatkovarsia apuna käyttäen (kuva 5). Kärkenä käytettiin näytteenotinta, jolla otettiin kustakin pisteestä maanäyte metrin kerroksina aina kahdeksaan metriin asti. Näytteenoton jälkeen poratun reiän ympärille asennettiin työputki ( $d_{out}=99$  mm,  $d_{in}=83$  mm). Työputken tarkoituksena on estää maa-aineksen kulkeutuminen porattuun reikään, johon pohjavesiputki asennetaan. Työputken asennuksen jälkeen reikä kairattiin uudestaan auki ja ylimääräinen maa puhallettiin ulos reiästä paineilman avulla. Pohjavesiputki asennettiin oletettuun pohjaveden pintaan saakka. Pohjaveden pinnan tasoa arvioitiin maanäytteiden kosteuden perusteella. PVP3 asennettiin 4 metrin syvyyteen, jossa orsivettä liikkui. PVP4 asennettiin kallioon saakka, 14 metrin syvyyteen ja PVP6 noin 16 metrin syvyyteen, myös kallioon asti.



Kuva 5 Maaperänäytteiden ottamiseen käytettiin Destia Oy:n kairauskalustoa. (Kuva Timo Pitkänen 2013)



Pohjavesiputki ( $d_{\text{out}}=60$  mm,  $d_{\text{in}} = 50$  mm) koostuu kartion mallisesta pohjaosasta ja kahden metrin pituisista siiviläosista ja yhden metrin pituisista umpinaisista putkiosista. Muoviset putket voidaan yhdistää toisiinta kierteiden avulla. Siiviläosan päälle laitetaan suodatinkangas, jos maaperä on hie-  
noa ja sen kulkeutuminen pohjavesiputkeen on mahdollista. Tässä kohteessa suodatinkangasta käytettiin kaikissa pohjavesiputkissa. Pohjavesiputki pudotettiin työputken sisään painovoiman avulla tai putken yläpäähän kevyesti lyömällä (kuva 6). Pohjavesiputken asennuksen jälkeen sen ympärille asennettiin kahden metrin pituinen, metallinen suojaputki ( $d_{\text{out}}=88$  mm,  $d_{\text{in}} = 82$  mm). Suojaputken tarkoituksena on suojella pohjavesiputkea ilkvallalta ja muilta kolhuilta. Suojaputken alaosa-  
ssa olevat hakaset estävät putken ylösvedon käsivoimin. Lisäksi suojaputkessa on erillisellä lukolla lukitta-  
vissa oleva korkki. Suojaputken ympärille asennettiin lisäksi levymäinen routasuoja, joka estää suo-  
japutken liikkumisen maaperän routimisen mukana. Routasuoja peitettiin maalla ja tiivistettiin huo-  
lallisesti, jotta pintavedet eivät pääse putken ympärille. Viimeisenä vaiheena suojaputken ympärille  
laitettiin huomioteipit lumen aurausta huomiolla pitäen.



Kuva 6 Pohjavesiputki asennettiin työputken sisään. (Kuva Timo Pitkänen 2013)

## 7.2 Näytteenotto ja näytteiden analysointi

Näytteenottopisteet on kuvattu liitteessä 3. Jokaisesta pisteestä (P1-P6) otettiin 8 maanäytettä met-  
rin välein aina 8 metrin syvyyteen asti. Maaperänäytteet tutkittiin heti näytteenoton jälkeen Petro-  
Flag-kenttäfotometrillä. PetroFlag ilmaisee maanäytteen sisältämien hiilivetyjen kokonaismäärän, ml.  
öljyhiilivedyt ja maan luontaiset hiilivedyt. Menetelmässä maanäytteen sisältämien öljyhiilivetyjen pi-  
toisuus analysoidaan spektrofotometrisesti.

Maaperästä lähetettiin lisäksi kokoomanäytteet laboratorioon (0 - 4 metrin ja 4 - 8 metrin syvyydel-  
tä), jossa niistä tutkittiin öljyhiilivetyjen ja haihtuvien yhdisteiden eli VOC-yhdisteiden pitoisuuksia.



Maaperään jääneiden pilaantuneiden maiden näytteistä teetettiin lisäksi öljyhiilivetyjen fraktioinnit, jossa öljyhiilivedyt jaettiin alifaattisiin ja aromaattisiin jakeisiin.

Näytteenoton aikaan pohjavesiputket PVP3 ja PVP4 olivat kuivia ja näyte saatiin vain pohjavesiputkesta PVP6. Pohjavesinäyte lähetettiin laboratorioon, jossa siitä tutkittiin öljyhiilivetyjakeet sekä aromaattiset öljyhiilivedyt ja oksygenaattit.

Analysoinnissa käytettyjen menetelmien kuvaus

Maaperänäytteet analysoitiin Ramboll Analyticsin akkreditoidussa (FINAS) laboratoriossa Lahdessa. Maaperänäytteistä analysoitiin öljyhiilivetyjakeet, VOC:it ja bensiinihiilivedyt. Lisäksi tehtiin öljyhiilivetyjen fraktioinnit. Pohjavesinäytteestä tutkittiin öljyhiilivety- ja bensiinihiilivetyjakeet.

Öljyhiilivetyjakeet (C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>)

Öljyhiilivedyt määritettiin asetoni/heksaaniuuton ja florisil-puhdistuksen jälkeen käyttäen GC/FI-tekniikkaa. Menetelmällä määritetään poolittomien hiilivetyjen summa välillä C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> - C<sub>40</sub>H<sub>82</sub> (dekaani-tetrakontaani). Määritysraja on 10 mg/kg ja mittausepävarmuus 31 %. Menetelmä perustuu standardeihin ISO 11 046 (1994) ja ISO 16 703 (2004).

VOC

Metanolikestävöidystä näytteestä analysoitiin haihtuvat yhdisteet käyttäen HS-GC/MS-tekniikkaa. Bentseenin määritysraja on 0,02 mg/kg ka ja TEX-yhdisteiden ja oksygenaattien 0,05 mg/kg. Kloorattujen alifaattisten hiilivetyjen määritysraja on 0,01 mg/kg ka. Mittausepävarmuudet ovat 24 - 44 %. Menetelmä perustuu standardeihin EPA Method 8 260B (1996), EPA Method 5 021 (1996) ja ISO 22 155 (2005).

Bensiinihiilivedyt (C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub>)

Bensiinihiilivedyt (C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub>) analysoitiin käyttäen HS-GC/MS-tekniikkaa. Pitoisuutta verrattiin heksaanin vasteeseen, josta laskettuna määritysraja oli 0,5 mg/kg ka.

THC (>C<sub>5</sub>-C<sub>35</sub>) fraktiointi

THC (TPH) kokonaishiilivetypitoisuus välillä >C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub> määritettiin HS-GC/MS-tekniikalla. Ilmoitetaan MTBE:n, TAME:n, ETBE:n, DIPE:n, TAEE:n ja BTEX:n pitoisuudet sekä fraktioiden >C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub>, >C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub> ja >C<sub>8</sub>-C<sub>10</sub> pitoisuudet TVOC-pitoisuutena (summasta vähennetään aromaattiset yhdisteet) suhteessa heksaaniin.

THC (TPH) kokonaishiilivetypitoisuus välillä >C<sub>10</sub>-C<sub>35</sub> määritettiin GC-FID-tekniikalla asetoni/heksaaniuuton jälkeen. THC-analyysi eroaa mineraaliöljymäärityksestä siten, että mineraaliöljy-

näytteelle tehdään lisäksi florisil-puhdistus, jossa poistuvat mm. rasvat, vahat ja muut pooliset yhdisteet.

Näyte fraktioitiin silikageelillä aromaattisten ja alifaattisten yhdisteiden fraktioihin. Näiden fraktioiden joukossa häiritseviä komponentteja (mm. kloorattuja liuottimia, ketoneja, alkoholeja, fenoleita, kasvi- ja eläinperäisiä rasvoja, ftalaattien estereitä jne) on vähemmän, sillä fraktiointi silikageelillä poistaa niitä. Näytteellä voi siis olla korkea THC-pitoisuus ja pienet fraktio-pitoisuudet, jos näytteessä on paljon muita kuin hiilivetyyhdisteitä. Toisaalta luontaiset hiilivedyt esim. terpeenit ja turpeesta peräisin olevat yhdisteet ovat pieninä pitoisuuksina hankalia erottaa mineraaliöljystä. Alhainen kuiva-aineprosenttiosuus näytteellä kasvattaa lopullista tulosta kuiva-aineessa.

### 7.3 Näytteiden laboratoriotulokset

PetroFlagillä määritetyissä maanäytteissä havaittiin alle 50 mg/kg öljypitoisuuksia ja näytteet eivät sisältäneet aistinvaraisesti havaittavia haitta-aineita.

Kokoomanäytteissä esiintyi öljyhiilivetyjä ja oksygenaatteja, aromaattisia hiilivetyjä ja kloorattuja alifaattisia hiilivetyjä alle laboratorion määrittämissä rajojen (katso luku 7.2) eli hyvin pieniä määriä.

Pohjavesinäytteessä esiintyi pieni määrä raskaita öljyjakeita (0,11 mg/l). Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2008 laatimat ohjeelliset arviointiperusteet pohjavesimuodostumien riskinalaiseksi nimeämiseen ja kemiallisen tilan arviointiin asettavat mineraaliöljyjen ohjeelliseksi summapitoisuudeksi 0,05 mg/l, kun laboratorionäytteen mineraaliöljyjen summapitoisuus oli 0,12 mg/l. Raskaat öljyjakeet ovat kuitenkin mahdollisesti peräisin pohjavesiputkien asennuksessa käytetyistä öljyistä. Kevyitä tai keskiraskaita öljyhiilivetyjä ei esiintynyt.

Kunnostuksen jäännösnäytteissä esiintyi keskiraskaita öljyhiilivetyjä yli ylemmän ohjearvon (1 600 – 7 300 mg/kg) ja raskaita öljyhiilivetyjä yli alemman ohjearvon (1 000 mg/kg). Bensiinijakeita esiintyi alle kynnysarvon (<100 mg/kg).

#### Näytteiden tulosten yhteenveto

Näytteenottopisteitä oli yhteensä 6 kappaletta. 3 niistä sijoittui koulun pohjoispuolelle ja 3 itäpuolelle. Maaperänäytteitä otettiin kaikista pisteistä 8 - 9 kappaletta, joten lisätutkimuksissa maaperänäytteitä kertyi yhteensä 50 kappaletta. Kenttämittarilla mitatut öljyhiilivetyypitoisuudet olivat näytteissä alle 50 mg/kg ja laboratoriomittausten tulokset alle määrittämissä rajojen. Pohjaveden raskaat öljyjakeet eivät todennäköisesti ole peräisin kunnostamisen jälkeen maaperään jääneistä öljyhiilivedyistä, vaan pohjaveden havaintoputkien asennuksessa käytetystä öljystä.

## 8 RISKINARVIOINTI HAAPAMÄEN YHTENÄISKOULULLA

### 8.1 Kulkeutumisriskit

Haitta-aineen todettujen pitoisuuksien ja ominaisuuksien perusteella voidaan sanoa, että sen kulkeutuminen pohjaveteen on mahdollista, mutta käytännössä vähäistä. Haitta-aineen kulkeutumiseen maaperästä pohjaveteen vaikuttaa haitta-aineen pitoisuus maaperässä sekä haitta-aineen liukoisuus veteen. Alueen pohjavedessä ei ole havaittu haitta-ainetta suurina pitoisuuksina tai omana, liukene-mattomana faasina. Haitta-aineen kulkeutuminen orsiveteen on mahdollista, koska alueen orsivesi sijaitsee samassa korkeustasossa pilaantuneiden maiden kanssa. Haitta-aineen kulkeutuminen Haapamäen koulun alueella on havainnollistettu käsitteellisessä mallissa. Käsitteellinen malli on esitetty liitteessä 4.

Alueen maaperästä ei arvioida kulkeutuvan haitta-ainetta pintavesiin, sillä pilaantuma sijaitsee 4 metriä maanpinnan alapuolella. Pilaantuneeksi jäänyt alue sijoittuu suurimmaksi osaksi koulurakennuksen alapuolelle tai päällystetyn koulun pihatien alle, jolloin hule- tai sulamisvedet eivät pääse helposti kosketuksiin pilaantumalla. Lähimmät pintavedet sijaitsevat yli 300 metrin päässä kohteesta, joten haitta-aineiden kulkeutuminen pintavesiin on epätodennäköistä.

Haitta-aineen kulkeutuminen juomaveteen on epätodennäköistä, sillä koulun käyttövesiputket eivät sijaitse lähellä pilaantuneita alueita. Koulun vesijohdot sijaitsevat koulun itäpuolella, eikä siellä ole havaittu öljyhiilivetyjä. Alueen vedenotto sijaitsee noin 850 metrin päässä koulusta, Haapamäen pohjavesialueella. Haitta-aineiden kulkeutuminen sinne on epätodennäköistä. Kohteen alapuolisilla kiinteistöillä ei ole talousvesikaivoja.

Haitta-aineen kulkeutumiseen sisäilmaan vaikuttavat esimerkiksi haitta-aineiden haihtuvuus, pitoisuudet maaperässä ja pohjavedessä, esiintymissyvyys sekä rakennusten ominaisuudet, kuten koko, perustamistapa ja ilmanvaihto. Suurin osa kohteessa havaituista öljyhiilivedyistä on kohtalaisen haihtuvia tai haihtuvia. Öljyhiilivetyä voi teoriassa päästä kulkeutumaan rakennuksen sisäilmaan. Öljyllä pilaantunut kerros sijaitsee noin 3 metrin syvyydessä rakennuksen alapohjan alapinnasta. Maaperässä oleva vapaa happi hajottaa tehokkaasti öljyhiilivetyä, eikä niiden pääseminen rakennuksen sisäilmaan ole todennäköistä. Laskennalliset pitoisuudet sisäilmassa on esitetty taulukossa 4. Sisäilman pitoisuudet laskettiin SOILIRISK 3.0 -laskentaohjelmalla. Ohjelmaan syötettiin kohteen historia- ja maaperätietojen perusteella lähtöarvot ja ohjelma laski niiden perusteella koulun sisäilmaan kertyvät haitta-ainepitoisuudet. Laskennassa käytetyt parametrit on esitetty tarkemmin liitteessä 5.

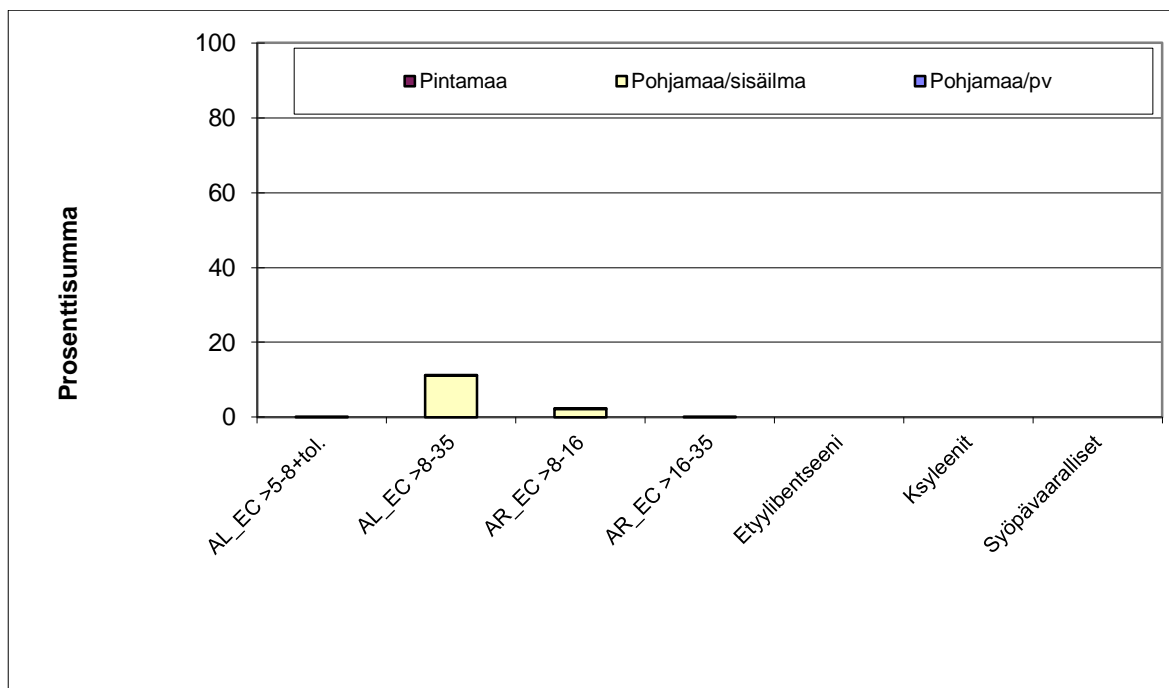
Taulukko 4 Kohteen maaperän todetut suurimmat haitta-ainepitoisuudet ja laskennallinen pitoisuus rakennuksen sisäilmassa.

	Pitoisuus maaperässä (mg/kg)	Pitoisuus sisäilmassa (µg/m <sup>3</sup> )
<b>Alifaattiset</b>		
C <sub>6</sub> -C <sub>8</sub>	1,2	83,7
C <sub>8</sub> -C <sub>10</sub>	35	219,9
C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub>	260	151,2
C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub>	1000	38,7
C <sub>16</sub> -C <sub>35</sub>	1100	6,59
<b>Aromaattiset</b>		
C <sub>8</sub> -C <sub>10</sub>	2	12
C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub>	120	3,5
C <sub>16</sub> -C <sub>21</sub>	250	0,65
C <sub>21</sub> -C <sub>35</sub>	110	2,2E-09

Alueen maaperä on hiekkaista. Tästä johtuen haitta-aineiden kulkeutuminen maaperässä syvemmälle on mahdollista. Haitta-aine voi esiintyä maaperässä myös omana faasinaan, jolloin osa maaperän huokostilasta täyttyy öljyllä. Faasi voi kulkeutua edelleen maaperässä joko alaspäin pohjaveden pinnan yläpuolisiin maakerroksiin tai tiiviiden maakerrosten kuten saven pinnalla. Haitta-aine voi päästä orsiveteen, mutta sen kulkeutuminen pohjaveteen asti on epätodennäköistä, sillä pohjaveden pinta sijaitsee yli 15 metrin syvyydessä. Tämän johdosta haitta-aineen kulkeutuminen pohjaveden mukana alueen ulkopuolelle on epätodennäköistä. Kulkeutuminen koulurakennuksen alle on kuitenkin mahdollista, jos haitta-aine kulkeutuu sinne orsiveden mukana tai pääsee ajan kuluessa pohjaveteen asti.

## 8.2 Terveysriskit

Haitta-aineen pitoisuuksia sisäilmassa ja niiden aiheuttamia terveysriskejä on arvioitu laskennallisesti SOILIRISK -laskentaohjelmalla. Laskennallisen riskinarvioinnin yhteenveto on esitetty liitteessä 6. Laskennallisen riskinarvioinnin perusteella kohteen maaperän haitta-aineen aiheuttamat terveysriskit (sisäilma) ovat hyväksyttävällä tasolla. Maaperässä todetut pitoisuudet ovat sisäilmariskin kannalta alifaattisilla öljyhiilivetyjakeilla 11 % ja aromaattisilla 0 % suurimmasta sallitusta pitoisuudesta (kuvio 7). Hyväksyttävän riskin ylärajana on aine-/aineryhmäkohtaisesti 100 %. Laskennan perusteella sisäilman hengittäminen ei aiheuta terveysriskejä koulun oppilaille ja työntekijöille.



Kuvio 7 SOILIRISK 3.0 -laskentaohjelman avulla lasketut haitta-aineen aiheuttamat terveysriskit. Hyväksyttävän riskin ylärajana pidetään 100 %. X-akselilla on kuvattu alifaattisten (>C<sub>5</sub>-C<sub>8</sub> ja >C<sub>8</sub>-C<sub>35</sub>) ja aromaattisten (>C<sub>8</sub>-C<sub>16</sub> ja >C<sub>16</sub>-C<sub>35</sub>) öljyhiilivetyjen, etyylibentseenin, ksyleenien ja syöpävaarallisten yhdisteiden terveysriskit prosentuaalisesti.

### 8.3 Jatkoimenpiteet Haapamäen yhtenäiskoululla

SOILIRISK-laskentaohjelmalla laskettujen tulosten pohjalta (tulokset alle turvallisena pidetyn riskirajan alapuolella) ja arvioinnin perusteella voidaan todeta, että sisäilmamittauksille ei katsota olevan tarvetta. Öljyhiilivetyjen katsotaan ajan kuluessa hajoavan biologisesti maaperässä vapaana olevan hapen toimesta.

Pohjavedessä olleiden raskaiden öljyjakeiden takia jatkossa alueen pohjavettä seurataan näytteenotolla siten, että pohjavesiputkista otetaan vesinäytteet ja mitataan pinnankorkeudet tammi-kuussa ja huhti-/toukokuussa 2014. Keuruun kaupungille lähetettyä riskinarviointia tarkennetaan tarvittaessa pohjavesinäytteiden perusteella. Mikäli öljyhiilivetyjä ei havaita pohjavedessä, voidaan tarkkailu lopettaa.

Arviointikohde tulee toimimaan jatkossakin koulurakennuksena. Alueella jatkossa tehtävien kaivutöiden yhteydessä tulee pilaantunut pohjamaa huomioida, mikäli kaivutyöt ulottuvat pilaantuneen maakerroksen tasoon. Pilaantuneen maa-aineksen kaivaminen on ympäristönsuojelulain mukaisesti luvanvaraista toimintaa. Ennen kaivutöihin ryhtymistä on haettava lupaa alueelliselta ELY-keskukselta.

## 9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin Haapamäen yhtenäiskoulun alueen maaperään jääneiden pilaantuneiden maiden ympäristö- ja terveysriskejä tarkasteleva kohdekohtainen riskinarviointi. Kesällä 2013 Haapamäen yhtenäiskoulun alueella toteutetun pilaantuneen maan kunnostuksen yhteydessä maaperään jäi öljyhiilivetyjä koulun pohjoissiiven ulkoseinän alapuolisiin maakerroksiin ja rakennuksen pohjoispuolella kulkevan viemärilinjän alapuolisiin maakerroksisiin. Tämän vuoksi kohteen maaperän pilaantuneisuudesta laadittiin Ramboll Finland Oy:n toimesta Keuruun kaupungille palautettava riskinarviointi, jota olin avustamassa. Minun roolini riskinarvioinnin ja lisätutkimusten tekemisessä oli pohjaveden havaintoputkien asentamisen ja näytteenoton valvominen, maaperänäytteiden analysoiminen PetfoFlag-kenttäfotometrillä, pohjavesinäytteiden ottaminen, riskinarvioinnin laatiminen avustetusti ja terveysriskien laskennallisen osion tekeminen SOILIRISK-laskentaohjelmalla. Tein tämän opinnäytetyön näiden toimenpiteiden pohjalta.

Alueelle tehtiin syksyllä 2013 lisätutkimuksia, joissa öljyhiilivetyjen liikkumista maaperässä ja pohjavedessä haluttiin selvittää. Tämä toteutettiin pohjaveden havaintoputkien asentamisella sekä pohjavesi- ja maaperänäytteiden analysoinnilla. Lisätutkimusten jälkeen öljyhiilivetyjä ei havaittu pohjavedessä tai laajemmalla koulun piha-alueella.

Työ onnistui ja johtopäätökset pystyttiin tekemään SOILIRISK-ohjelmaa hyväksi käyttäen. Lisäksi riskinarvioinnin tekemisessä onnistuttiin seuraavissa asioissa:

- tehtiin kattavat lisätutkimukset koulun alueella,
- riskinarviointiraportti palautettiin ajoissa sen tilaajalle (Keuruun kaupungille),
- riskinarvioinnissa on selkeästi kuvattu haitta-aineen kulkeutuminen sekä siihen liittyvät terveysriskit ja ekologiset riskit.

Riskinarvioinnin tarkkuutta voisi parantaa:

- pilaantuneisuuden tarkempi rajausta kuten rakennuksen alapuolisten näytteiden ottaminen,
- pohjaveden sijainnin tarkempi määrittäminen ja
- pohjavedestä täytyisi saada otettua paremmat vesinäytteet (osa pohjaveden havaintoputkista oli loppusyksystä kuivia).

Laskennallisen riskinarvioinnin ja pohjavesinäytteiden perusteella haitta-aineiden liukeneminen maaperästä pohjaveteen on vähäistä. Potentiaalisimmaksi terveysriskiksi arvioitiin haitta-aineen haihtuminen rakennuksen sisäilmaan rakennuksen alapuolisista maakerroksista. Arvioinnin perusteella maaperän kohonneet haitta-ainepitoisuudet eivät kuitenkaan aiheuta merkittäviä riskejä terveydelle tai ympäristölle, eikä alueella ole maaperän jatkokunnostustarvetta. Tähän mennessä koulussa ei ole havaittu öljyhiilivedyistä johtuvaa hajuhaittaa, joten maaperän huokosilmaan haihtuvat hiilivedyt todennäköisesti myös hajoavat maaperän hapen vaikutuksesta ennen kuin ne havaitaan hajuna sisätiloissa.

## LÄHTEET

Geologian tutkimuskeskus, 2011; pohjakartta [Viitattu 22.1.2014]

Saatavissa: <http://geomaps2.gtk.fi/geo/>

Jaakkonen, S. 2008 Kaivettujen pilaantuneiden maa-ainesten käsittely Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 36/2008 [Viitattu 29.1.2014]

Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39820/SYKEra\\_36\\_2008.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39820/SYKEra_36_2008.pdf?sequence=1)

Penttinen, R. 2001. Maaperän ja pohjaveden kunnostus 2001. [Viitattu 16.1.2014]. Suomen ympäristökeskus

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BD3BAE655-DB2E-47C8-A9C0-07BF9E520E46%7D/92228>

Pyy O., Haavisto T., Niskala K. ja Silvola M. 2013 Pilaantuneet maa-alueet Suomessa. Katsaus 2013 [Viitattu 16.1.2014]. Suomen ympäristökeskus

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BB56C2F05-4E94-46E5-8B9F-BBB69B687734%7D/92133>

Reinikainen, J. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämisperusteet. Helsinki: Edita [Viitattu 16.1.2014]. Suomen ympäristökeskus.

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BEAFEBB44-7EB1-4B42-A08B-EC6ADAA28ADC%7D/91492>

Työterveyslaitoksen www-sivut. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohjeet [Viitattu 28.1.2014]

Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/kepoltto.html>

Valtion ympäristöhallinnon www-sivut. Asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista [Viitattu 16.1.2014]

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B428B1DC3-6EB4-4F39-B204-BF16011A79A5%7D/57701>

Valtion ympäristöhallinnon www-sivut. Pilaantuneet maa-alueet [Viitattu 10.1.2014]

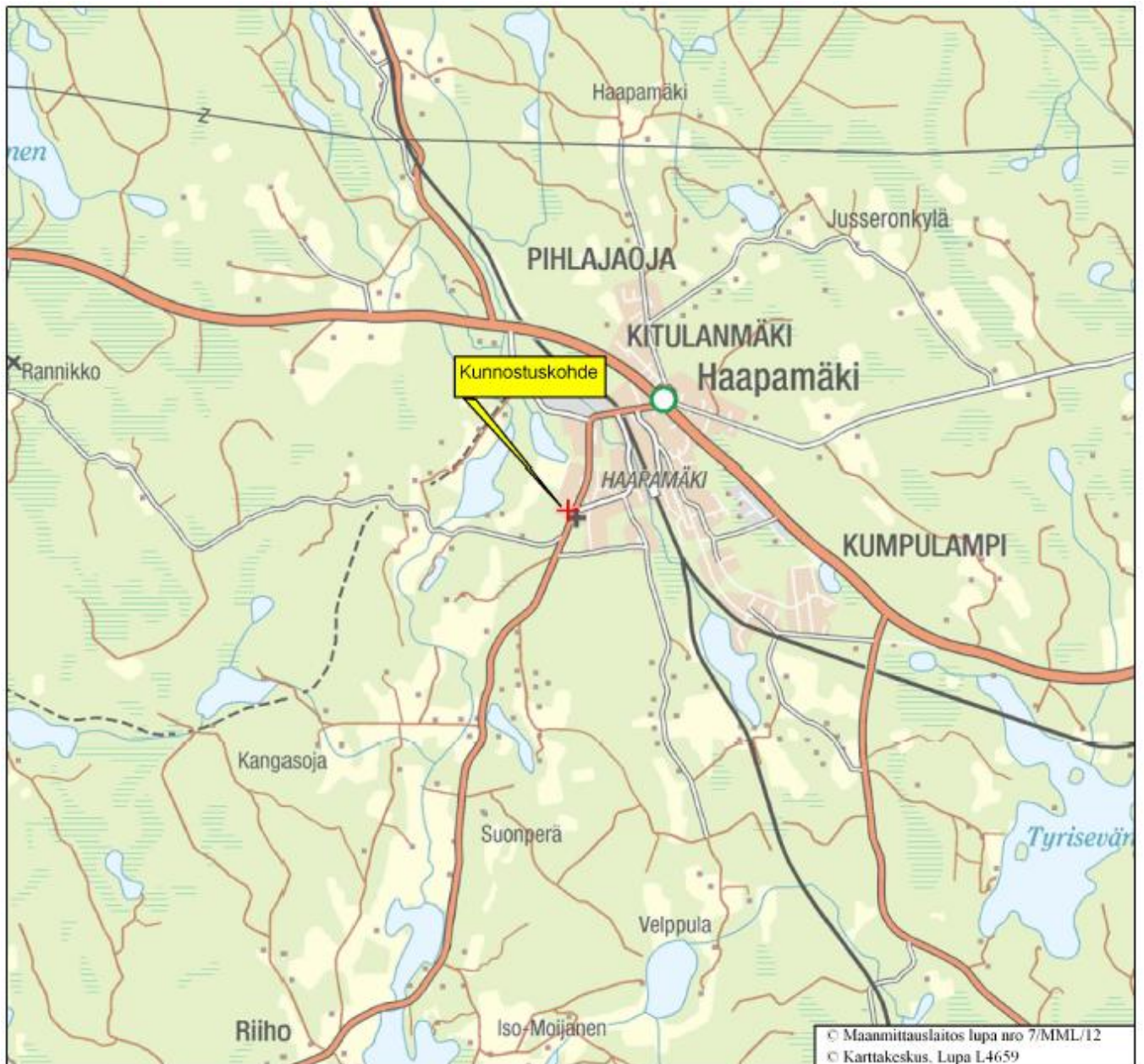
Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Pilaantuneet\\_maaalueet](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Pilaantuneet_maaalueet)

Ympäristöministeriö 2007. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007. Helsinki: Edita. [Viitattu 10.1.2014]



Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B428B1DC3-6EB4-4F39-B204-BF16011A79A5%7D/57701>

# LIITE 1 SIJAINTIKARTTA



Mittakaava 1:50000

Koordinaattijärjestelmä: KKJ-yk

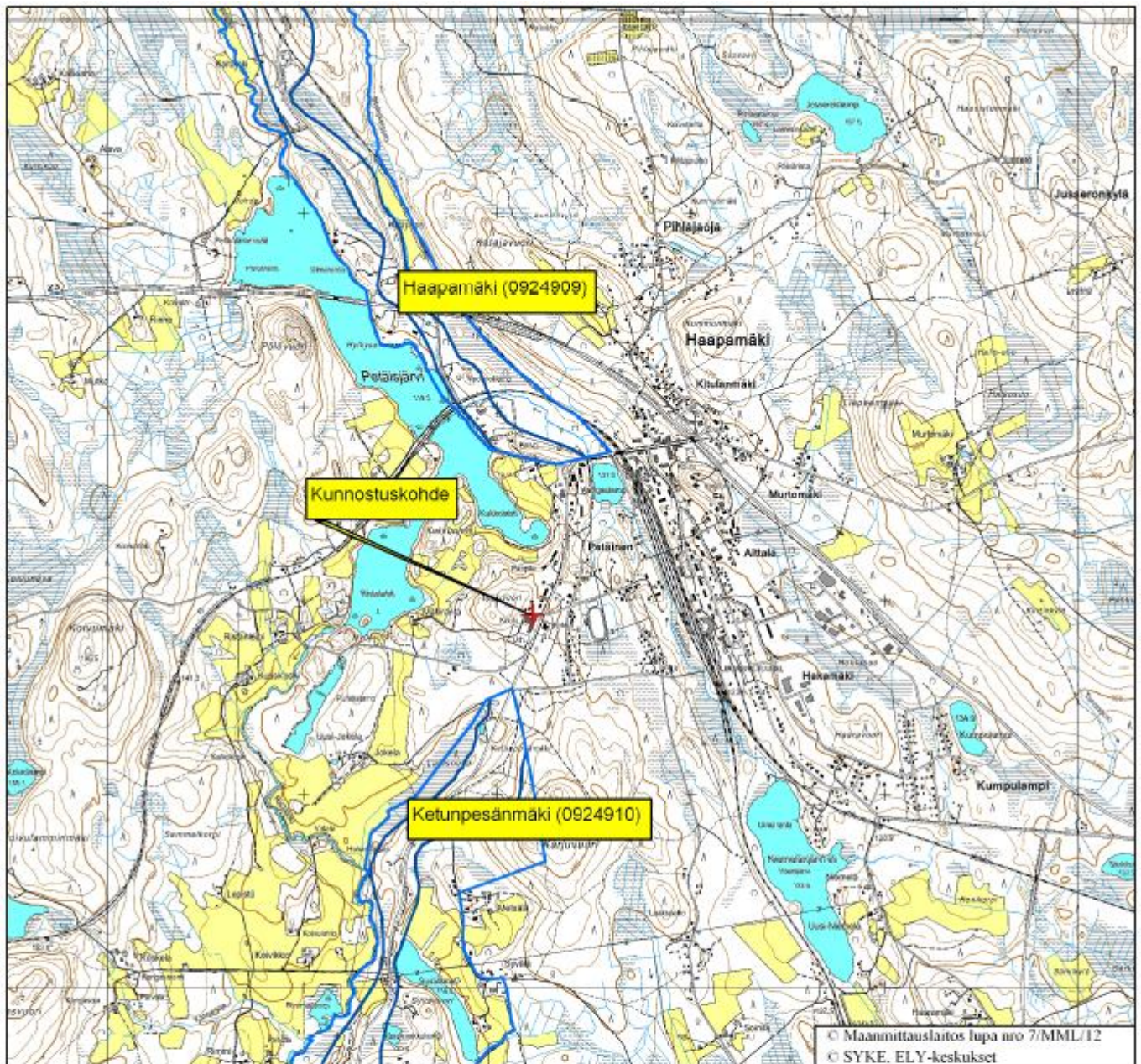
Nurkkapisteen koordinaatit: 6902110:3362363 - 6911260:3372063

- Ympäristö-ELYt
- Kuntarajat





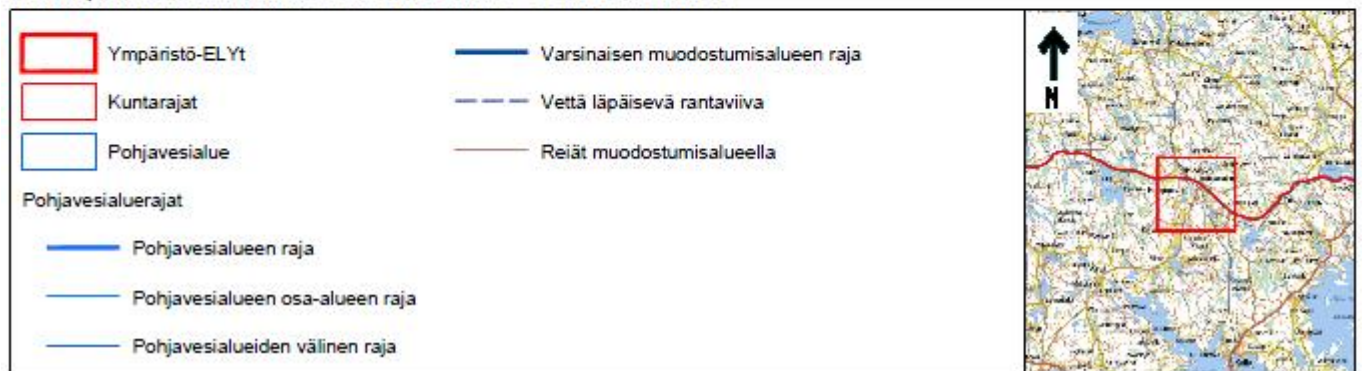
## LIITE 2 POHJAVESIALUEKARTTA



Mittakaava 1:30000

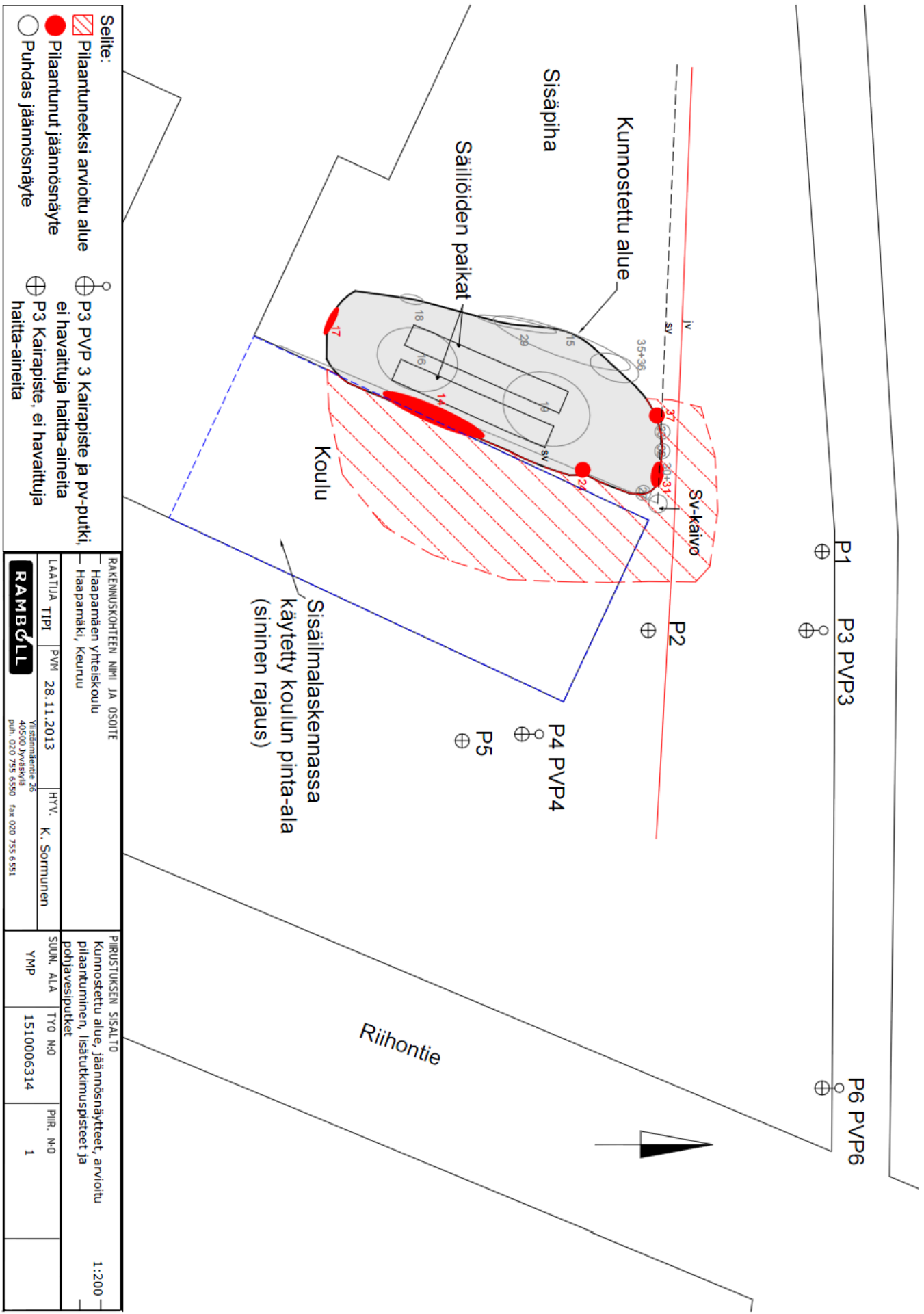
Koordinaattijärjestelmä: KKJ-yk

Nurkkapisteen koordinaatit: 6904576:3364476 - 6910066:3370296

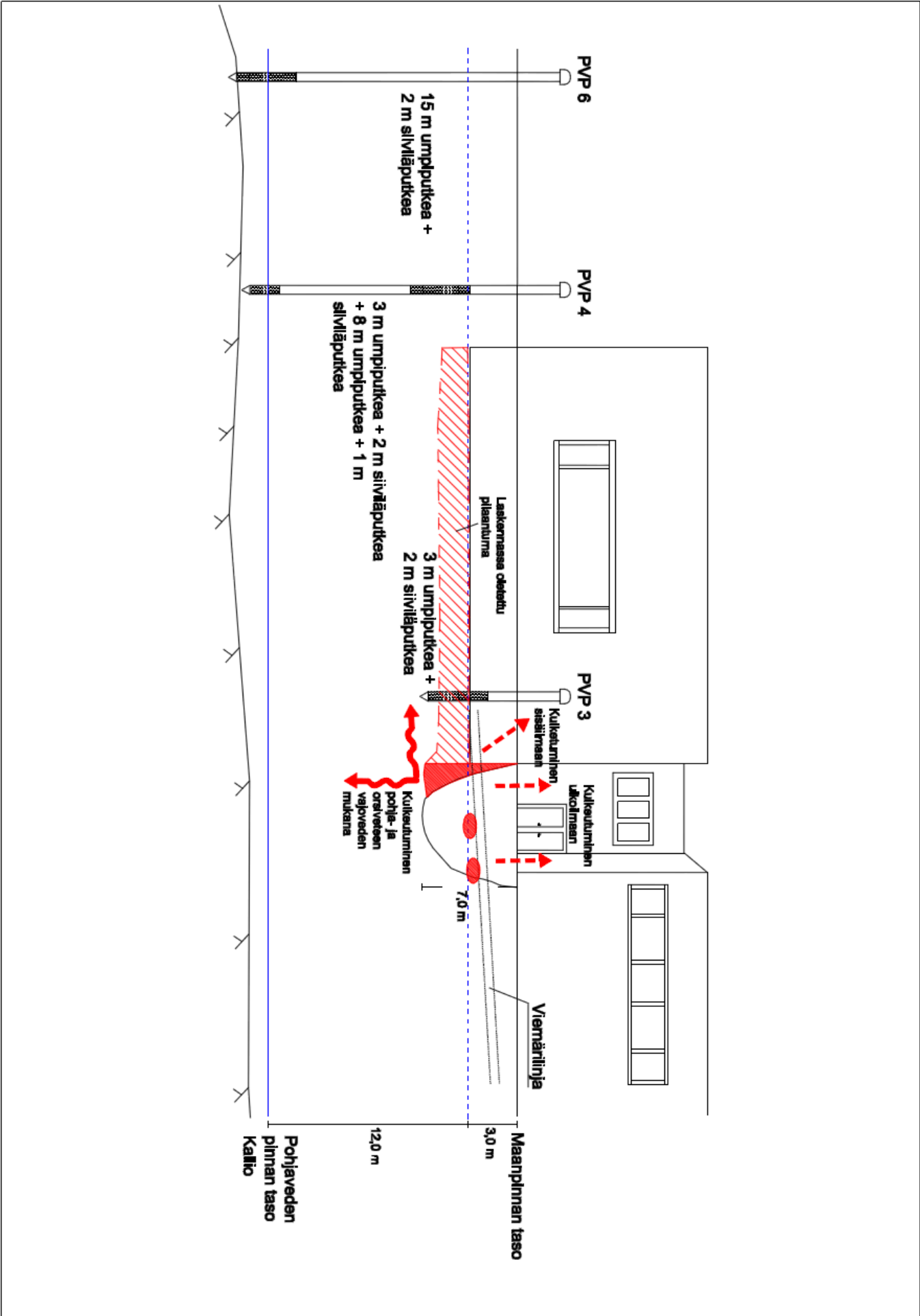




LIITE 3 NÄYTEPISTEKARTTA



LIITE 4 HAITTA-AINEEN KULKEUTUMISEN KÄSITTEELLINEN MALLI



**LIITE 5 SOILIRISK-LASKENTAAN VALITUT PARAMETRIT**

Laskennan lähtöarvo	Yksikkö	Asuntoalue		Kaupallinen/ Teollinen
		Lapsi	Aikuinen	Työntekijä
Maan ominaisuudet				
Vajoveden määrä (maahan imeytyvä vesi)	cm/a	sama kuin ai- kuinen asukas	36	sama kuin aikuinen asukas
Orgaanisen hiilen määrä kyllästymät- tömässä maakerroksessa	g oc/g maata		0,001	
Maan kokonaishuokoisuus vedellä kyllästymättömässä kerroksessa	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>		0,44	
Maan tilavuuspaino kuivana	g/cm <sup>3</sup>		1,48	
Vesipitoisuus vajovesivyöhykkeessä	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>		0,15	
Ilmapitoisuus vajovesivyöhykkeessä	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>		0,29	
Vedenjohtavuus vajovesivyöhykkes- sä (kyllästyneenä)	cm/s		3,00E-03	
Vedenjohtavuus pohjavesikerrokses- sa	cm/s		6,00E-03	
Pohjaveden pinnan gradientti			0,02	
Tehollinen huokoisuus pohjavesiker- roksessa	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>		0,25	
Pohjaveden todellinen virtausnopeus	cm/d		41,5	
Sekoittumiskerroksen paksuus poh- javedessä	cm		100	
Vajovesivyöhykkeen paksuus	cm		1485	
Kapillaarivyöhykkeen paksuus	cm		15	
Ilmapitoisuus kapillaarivyöhykkeessä	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>		0,090	
Vesipitoisuus kapillaarivyöhykkeessä	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,35		
Pilaantuneisuutta koskevat, ilmastolliset ja rakennustekniset laskentaparametrit				
Pilaantuneen pintamaan paksuus	cm	sama kuin ai- kuinen asukas	60	sama kuin aikuinen asukas
Etäisyys maan pinnasta pilaantuneen pohjamaan pintaan	cm		300	

Etäisyys pilaantuneen pohjamaan pinnasta laatan alle	cm		200	
Pilaantuneen pohjamaan paksuus	cm		400	
Etäisyys maan pinnasta pohjaveden pintaan	cm		1500	
Etäisyys pohjaveden pinnasta laatan alle	cm		1400	
Etäisyys lähimpään pohjaveden käyttö-/tarkkailukohteeseen	m		5	
Pilaantuneen alueen pituus pohjaveden virtaussuuntaan	m		15	
Pilaantuneen alueen leveys koh-tisuoraan pohjaveden virtausta	m		4	
Ilmaan leviävien maahiukkasten määrä	g/cm <sup>2</sup> -s		1,00E-13	1,00E-13
Tuulen keskinopeus ulkoilman sekoit-tumisvyöhykkeessä	m/s		3,0	=aik. as.
Ulkoilman sekoittumiskerroksen pak-suus	cm		200	
Rakennuksen lattian pinta-ala	m <sup>2</sup>		350	350
Rakennuksen tilavuus	m <sup>3</sup>		875	875
Pilaantuneen maan pinta-alan osuus rakennuksen alapuolisesta maa-alasta			1	1
Pilaantuneen pohjaveden pinta-alan osuus rakennuksen alapuolisesta maa-alasta			0	0
Alapohjasta tulevan korvausilman määrä	cm <sup>3</sup> /s		140	140
Sisäilman Ilmanvaihtokerroin	1/s		1,39E-04	1,39E-04
<b>Altistumisen laskentaparametrit</b>				
Keskiarvoistusaika syöpävaarallisille aineille	a	=aik. as.	70	=aik. as.
Keskiarvoistusaika ei-syöpävaarallisille aineille	a	9	24	25
Keskiarvoistusaika haihtumiselle	s	=aik. as.	6,31E+07	6,31E+07
Henkilön paino	kg	15	70	70
Altistumisen kesto	a	9	24	25
Altistumisen tiheys	d/a	190	200	200
Altistumisaika sisäilmalle	h/d	7	8	8

Altistumisaika ulkoilmalle	h/d	1,5	1,1	0,71
Niellyn pohjaveden määrä	l/d	1	2	1
Ihoon tarttuvan maan määrä	mg/cm <sup>2</sup>	0,5	0,5	0,5
Hengitetyn sisäilman määrä	m <sup>3</sup> /d	7,7	20	20
Hengitetyn ulkoilman määrä	m <sup>3</sup> /d	10	20	20
Maakosketukselle altistuva ihon pinta-ala	cm <sup>2</sup>	2800	1700	1700
Niellyn maan määrä	mg/d	150	50	50
<b>HYVÄKSYTTÄVÄT RISKITASOT</b>				
Hyväksyttävä syöpäriskin lisääntyminen	ei yksikköä	=aikuinen asukas	1,0E-05	1,0E-05
Hyväksyttävä vaaraosamäärä	ei yksikköä		1,0	1,0



**SOILIRISK      Versio 3.0**  
**Öljyalan Palvelukeskus Oy**

Tiivistettyjä ohjeita ja selityksiä on esitetty yksittäisissä soluissa. Tarkempia ohjeita ja mallia koskevia tietoja löytyy riskinarviointiohjeesta.

Laskentataulukkoa käytetään öljyllä pilaantuneiden kohteiden riskinarvioinnin 2-vaiheessa. Aloita määrittelemällä laskentaparametrit asiantunneen taulukoon.

Kohde:	Haapamäen yhteiskoulu		
Päivämäärä:	28.11.2013		
Tekijä:	Timo Pitkänen		

**Öljyhiliveytyen fraktiot**

Todetut pitoisuudet	Pintamaa mg/kg	Pohjamaa mg/kg	rak.	Pohjavesi mg/l	Hajoaminen 1/d	HUOM!
Alifaattiset öljyhilivedyt		ulkool.				
AL_EC >5-6		1,2	1,2			
AL_EC >6-8		1,2	1,2			
Yhteensä	0	1,2	1,2	0		
AL_EC >8-10		35	35			!
AL_EC >10-12		260	260			!
AL_EC >12-16		1000	1000			!
AL_EC >16-35		1100	1100			!
Yhteensä	0	2395	2395	0		

Aromaatitset öljyhilivedyt						
AR_EC >8-10		2	2			
AR_EC >10-12						
AR_EC >12-16		120	120			!
Yhteensä	0	122	122	0		
AR_EC >16-21		250	250			!
AR_EC >21-35		110	110			!
Yhteensä	0	360	360	0		
BTEx-aineet, bentseenin laskelma syöpävaarallisuus						
Bentseeni						
Toluenei						
Etyyliibentseeni						
Ksyleeni						

Maankäyttö	Asuinalue		Työpaikka-alue	
	1		1	

Mahdolliset kulkutunus- ja altistustireitit						
Pintamaa	Sisäilma		Pohjamaa	Pohjamaa	Pohjavesi	Pohjavesi
	Pohjamaa	Pohjavesi	/ pohja- veden käyttö, ei haj.	/ pohja- veden käyttö, hajoa	/ veden käyttö, ei haj.	/ veden käyttö, hajoa
1	1	1	1	1	1	1

Todettu pitoisuus % laskemusta haitattomasta pitoisuudesta						
	0		0	0		
0	0	0	0	0	0	0
	6		0	0		
	4		0	0		
	1		0	0		
	0		0	0		
0	11	0	0	0	0	0

	2		0	0		
	0		0	0		
0	2	0	0	0	0	0
	0		0	0		
	0		0	0		
0	0	0	0	0	0	0

Ainekohtaiset kylästyms- pitoisuudet		Maa mg/kg	Pohjavesi mg/l
		2,64E+02	3,60E+01
		7,49E+01	5,40E+00
		2,05E+01	4,30E+01
		9,30E+00	3,40E+02
		3,88E+00	7,60E+04
		1,58E+00	2,50E+06
		1,17E+02	6,50E+01
		6,07E+01	2,50E+01
		2,96E+01	5,80E+00
		1,05E+01	6,50E+01
		8,59E+01	6,60E+03
		3,95E+02	1,80E+03
		1,47E+02	5,30E+02
		8,50E+01	1,69E+02
		8,13E+01	1,98E+02

Työpaikka-alue	Kulkeutumissai- ka pohjaveden tarkkailupis- teeseen d	Pitoisuus pohjavedessä tarkkailu- pisteessä mg/l		Maksimipitoi- sus huokos- kaasssa µg/m3		Pitoisuus huokoskaasssa laatan alla µg/m3		Pitoisuus sisäilmassa µg/m3	
		maa	pohjavesi	maa	pohja- vesi	maa	pohja- vesi	maa	pohja- vesi
Alifaattiset öljyhilivedyt									
AL_EC >5-6	6,9E-01								
AL_EC >6-8	3,0E+00	0,000		1,4E+05		7,3E+04		8,4E+01	
AL_EC >8-10	2,3E+01	0,000		3,8E+05		1,9E+05		2,2E+02	
AL_EC >10-12	1,8E+02	0,000		2,6E+05		1,3E+05		1,5E+02	
AL_EC >12-16	3,6E+03	0,000		6,6E+04		3,4E+04		3,9E+01	
AL_EC >16-35	4,5E+05	0,000		1,1E+04		5,7E+03		6,6E+00	
Aromaattiset öljyhilivedyt									
AR_EC >8-10	1,3E+00	0,000		2,2E+04		1,0E+04		1,2E+01	
AR_EC >10-12	1,8E+00								
AR_EC >12-16	3,7E+00	0,000		8,0E+03		3,1E+03		3,5E+00	
AR_EC >16-21	1,2E+01	0,000		2,6E+03		5,7E+02		6,5E-01	
AR_EC >21-35	9,3E+01	0,000		4,0E-01		1,9E-06		2,2E-09	
BTEx-aineet									
Bentseeni	1,7E-01								
Tolueeni	2,1E-01								
Etyyliibentseeni	3,6E-01								
Ksyleenit	3,0E-01								